

5.16.- AJUSTE

5.16.1.- GENERALIDADES

Las formas constructivas unificadas de los productos y su fabricación en serie en talleres especializados facilitan el abastecimiento de los mercados y abaratan la producción. Los elementos sueltos fabricados deben, empero, ajustar perfectamente en el montaje y ser intercambiables, es decir, han de poderse montar, con "ajuste" apropiado a su empleo, sin posterior labor de adaptación. Para esto es para lo que sirven los ajustes. Se entiende por ajuste, la relación mecánica existente entre dos elementos cuando uno de ellos se acopla (encaja) en el otro; esta relación resulta con "juego" (holgura) cuando los dos elementos pueden moverse entre sí con facilidad y con "apriete" cuando los elementos han quedado sin posibilidad de movimiento relativo entre ellos. Las consecuencias del encaje, juego o apriete, constituyen los "asientos" que definen el ajuste.

5.16.2.- AJUSTE

También denominado ENCAJE, ACOPLAMIENTO O ASIENTO, es el juego o apriete que, como consecuencia de las medidas establecidas y toleradas admitidas, existen entre las partes en contacto.

El ajuste define las condiciones dentro de las cuales debe comportarse el acoplamiento de dos elementos: macho y hembra. En la práctica nos referimos al caso de ejes y agujeros como forma simplificada de lenguaje, pero debe entenderse que nos estamos refiriendo a formas interiores (machos) y exteriores (hembras) respectivamente,

5.16.3.- SUPERFICIES AJUSTADAS

Denominadas también SUPERFICIES DE ENCAJE, son las distintas superficies en las que se tocan los elementos ajustados o que pueden entrar en contacto en elementos con movimiento relativo entre sí.

5.16.4.- ELEMENTOS AJUSTADOS

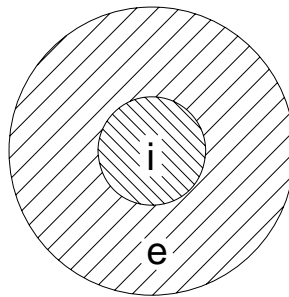
Conocidos también como ELEMENTOS DE AJUSTE, son todos los elementos que forman o componen un ajuste.

5.16.5.- ELEMENTO EXTERIOR O AGUJERO

Es el elemento ajustado que envuelve a otro o a otros elementos ajustables. La letra correspondiente a su notación es e.

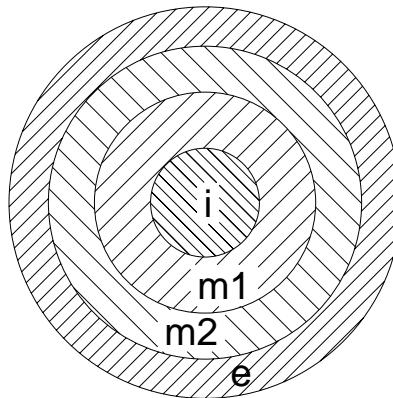
5.16.6.- ELEMENTO INTERIOR O EJE

Es el elemento ajustado envuelto por otro o por otros elementos ajustables. La letra correspondiente a su notación es i.



5.16.7.- ELEMENTO INTERMEDIO

Es el elemento ajustado situado entre el exterior y el interior de un ajuste múltiple. La letra correspondiente a su notación es m. Cuando son varios los elementos intermedios se utilizan los subíndices 1, 2, 3,...n. Tales como m1, m2,...mn, contando desde dentro hacia fuera.



5.16.8.- AJUSTE CILINDRICO

El encaje cilíndrico tiene lugar cuando son cilíndricas las superficies ajustadas.

5.16.9.- AJUSTE PLANO

Es el efectuado entre pares de superficies planas.

5.16.10.- AJUSTE SENCILLO

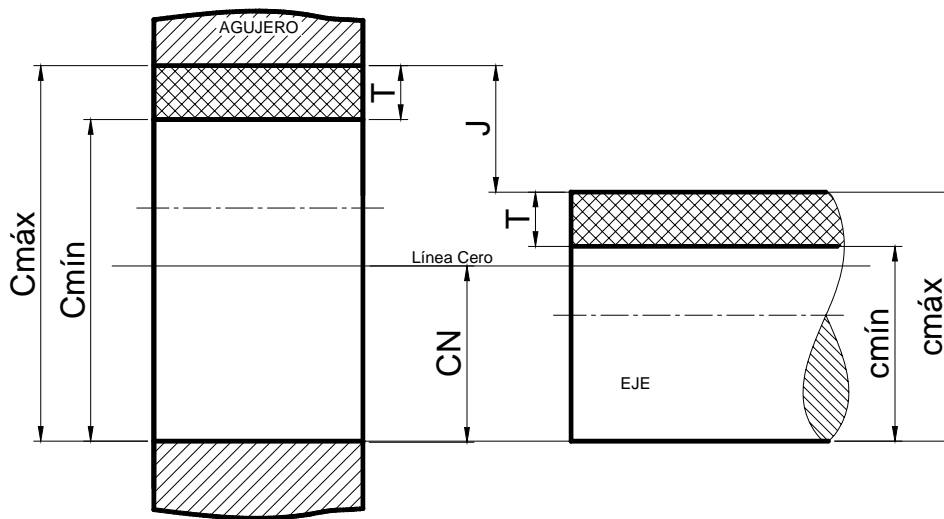
El encaje sencillo es el correspondiente a dos elementos ajustados o encajados.

5.16.11.- AJUSTE MÚLTIPLE

Es el correspondiente a más de dos elementos ajustados

5.17.- JUEGO

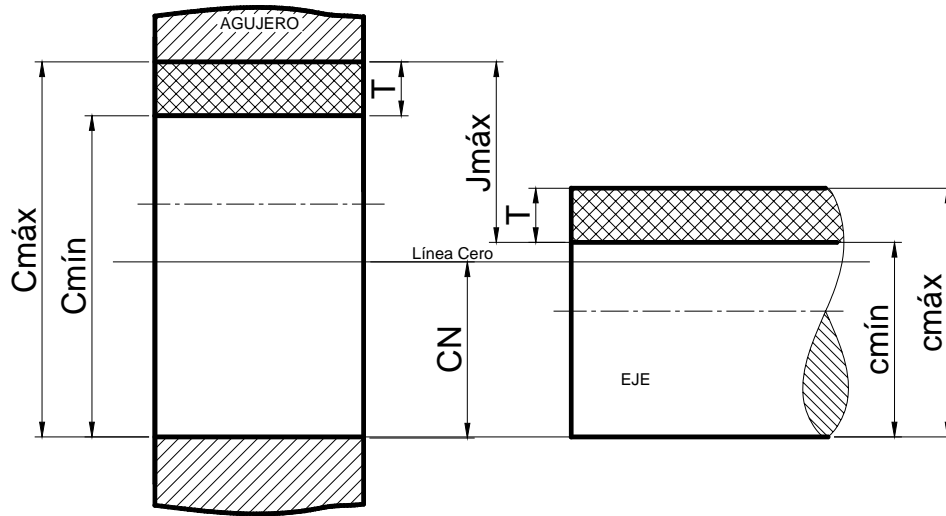
Es la diferencia entre la medida interior del elemento exterior y la medida exterior del elemento interior, cuando la medida interior es mayor que la exterior. Es decir, es la diferencia entre la medida del agujero y la del eje, cuando aquél es mayor que este. Esta dimensión ha de resultar siempre positiva, pues al acoplar el eje al agujero ha de quedar un huelgo o espacio libre cuya dimensión define el juego. Se le representa por la letra mayúscula J.



5.17.1.- JUEGO MÁXIMO

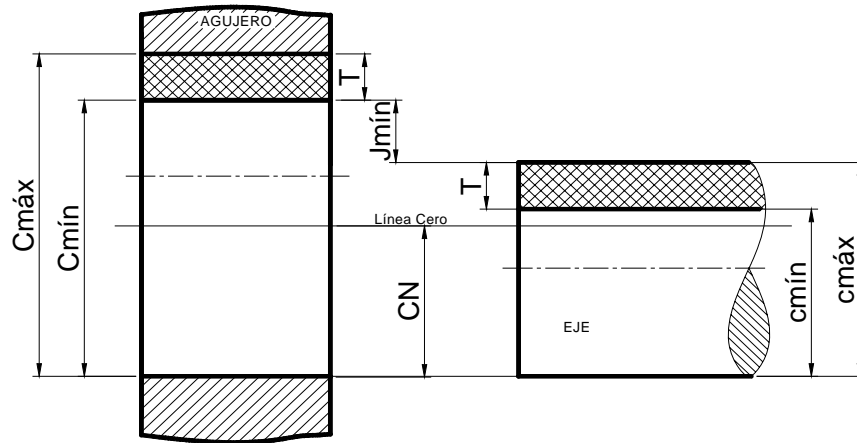
Es la diferencia entre la medida máxima interior del elemento exterior y la medida mínima exterior del elemento exterior. En otras palabras, es la diferencia entre la medida máxima del agujero y la medida mínima del eje.

Se le representa por: $J_{\text{máx}} = C_{\text{máx}} - c_{\text{mín}} = CM - cm$



5.17.2.- JUEGO MÍNIMO

Es la diferencia entre la medida mínima interior del elemento exterior y la medida máxima exterior del elemento interior. Es decir, es la diferencia entre la medida mínima del agujero y la medida máxima del eje. Se le representa por: $J_{\text{mín}} = C_{\text{mín}} - c_{\text{máx}} = Cm - cM$



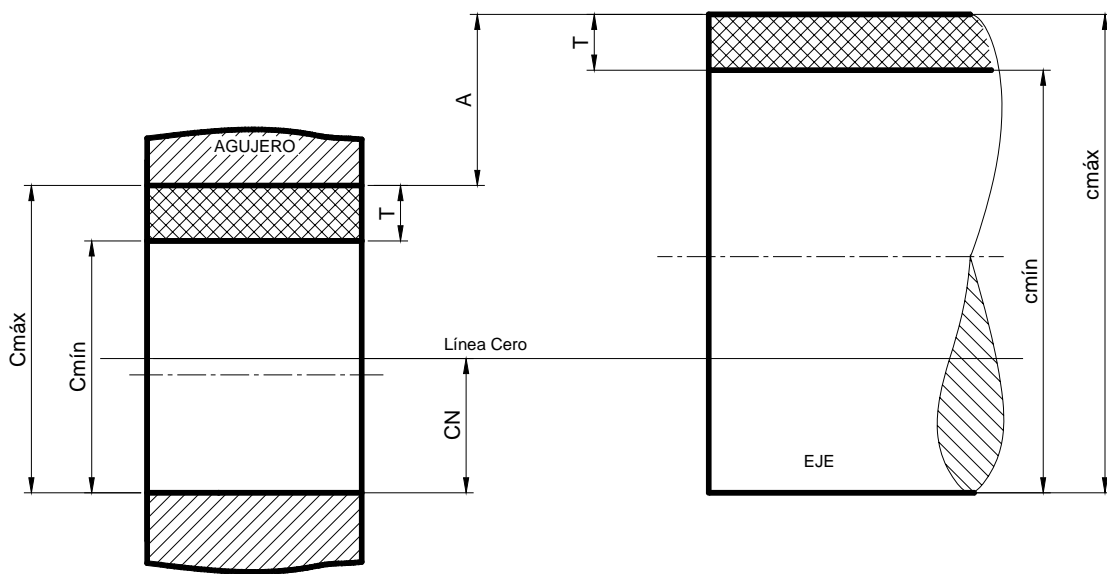
5.17.3.-JUEGO REAL

Es la diferencia entre la medida real del elemento exterior (agujero) y la medida real del elemento interior (eje). Se le representa por **JR**.

$$JR = DR - dR$$

5.18.- APRIETE

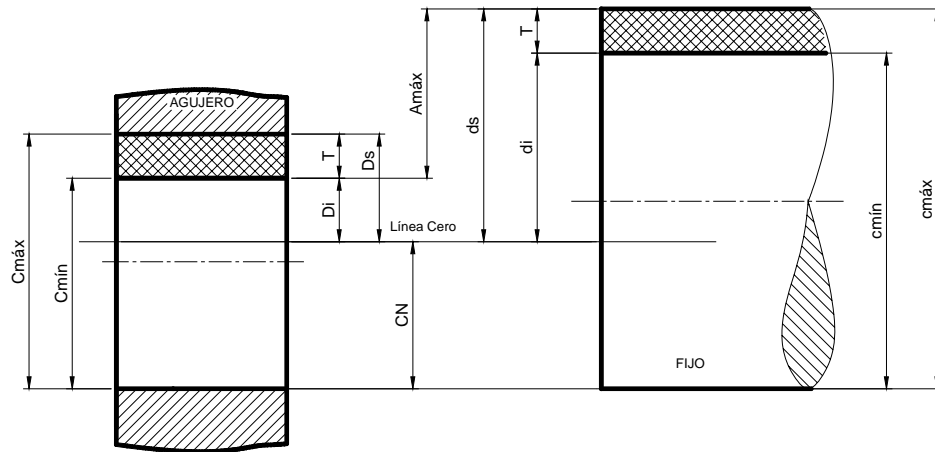
Denominado también APRIETO, es la diferencia entre la medida exterior del elemento interior y la medida interior del elemento exterior, cuando antes del encaje de los elementos ajustados, la medida exterior es mayor que la medida interior. Dicho de otra manera, es la diferencia entre la medida del eje y la del agujero, cuando aquél es mayor que éste, antes de hacer el acoplamiento. El valor de esta diferencia ha de resultar siempre negativo, pues al acoplar el eje al agujero ha de absorberse una interferencia dimensional que es la que define el apriete. (EL APRIETE puede considerarse como un juego negativo). Se le representa por la letra mayúscula A.



5.18.1.- APRIETE MÁXIMO

Es la diferencia entre la medida máxima exterior del elemento interior y la medida mínima interior del elemento exterior. Es decir, es la diferencia entre la medida máxima del eje y la mínima del agujero. Se le representa por Amáx.

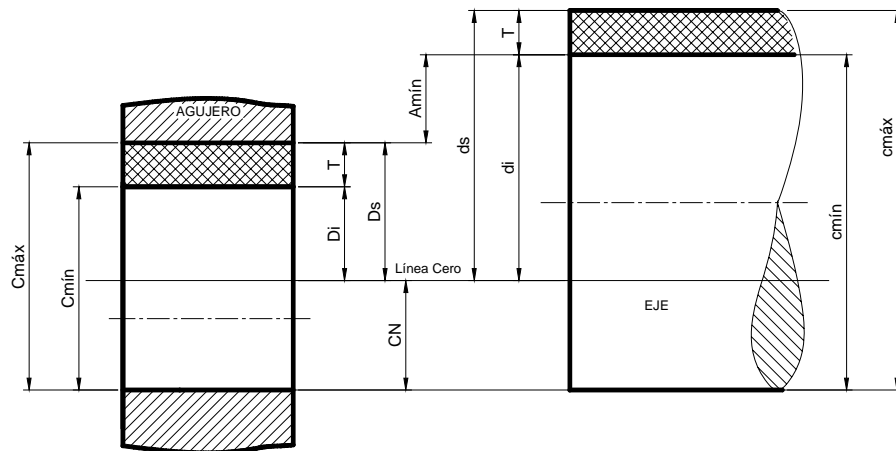
$$Amáx = cmáx - Cmín = cM - Cm$$



5.18.2.- APRIETE MÍNIMO

Es la diferencia entre la medida mínima exterior del elemento interior y la medida máxima interior del elemento exterior. Es decir, la diferencia entre la medida mínima del eje y la máxima del agujero. Se le represente por A_{min}

$$A_{min} = c_{min} - C_{max} = cm - CM$$



5.18.3.- APRIETE REAL

Es la diferencia entre la medida real del elemento interior (eje) la medida real del elemento exterior (agujero). Se la representa por AR

$$AR = cR - CR$$

5.19.- CLASES DE AJUSTES

Los ajustes se clasifican en tres tipos fundamentales. Los cuales son: móvil, fijo e indeterminado.

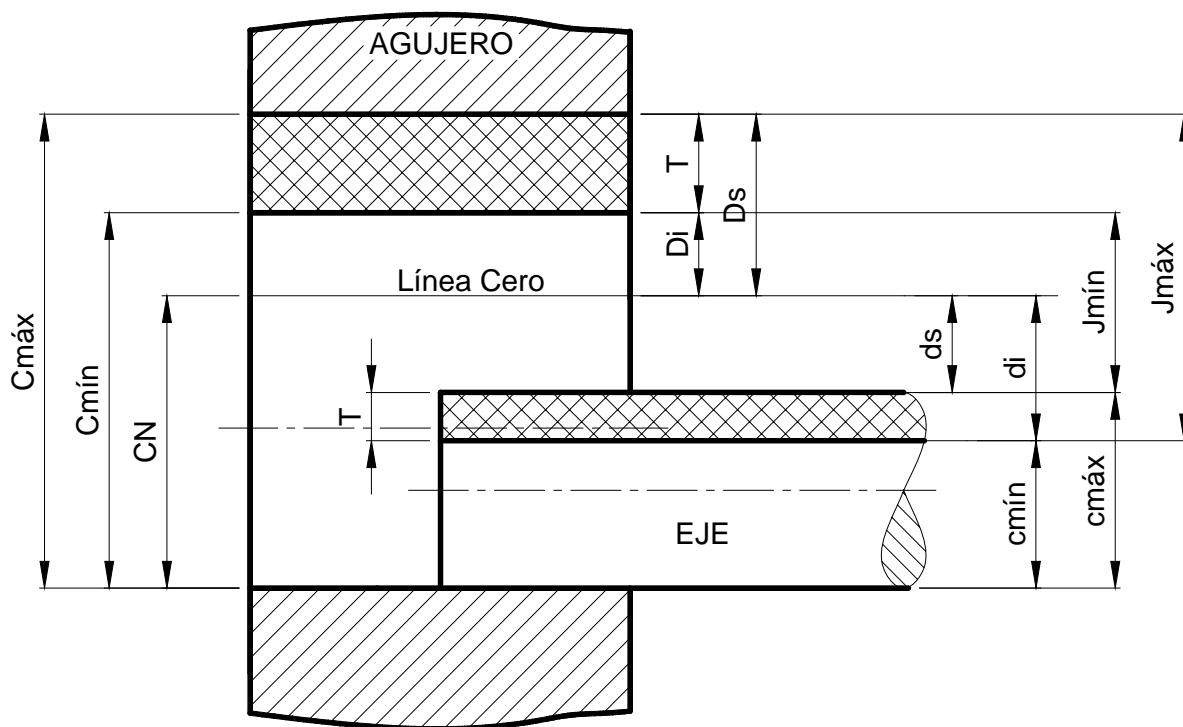
5.19.1.- JUEGO

Llamado también ajuste holgado o ajuste móvil, son ajustes con holgura, es decir, el eje gira libremente y sin rozamiento dentro del agujero. Para ello, el juego mínimo (J_{\min}), es la diferencia entre la cota mínima del agujero y la cota máxima del eje, que debe ser positiva. El juego máximo (J_{\max}) se determina como la diferencia entre la cota máxima del agujero menos la cota mínima del eje, y representa la holgura máxima que podríamos obtener en el acoplamiento. Se denomina Tolerancia del ajuste (T_a), cuando es juego, es la diferencia entre el juego máximo y el juego mínimo, valor que coincide con la suma de las tolerancias de eje y agujero.

$$J_{\min} = C_{\min} - c_{\max} \text{ donde } C_{\min} > c_{\max}$$

$$J_{\max} = C_{\max} - c_{\min}$$

$$T_a = J_{\max} - J_{\min} = T_{ag} + T_{eje}$$



5.19.2.- APRIETE

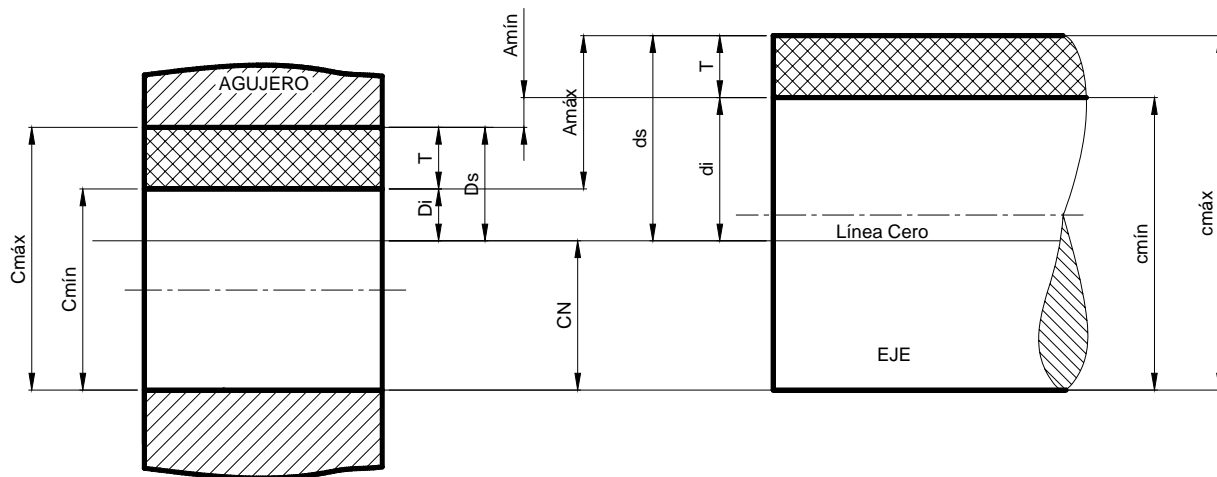
Llamado también ajuste fijo, ajuste prensado o ajuste forjado, son ajustes en los que el eje entra en el agujero de forma forzada y con rozamiento, de tal forma que giran solidarios. Para ello, el apriete mínimo ($Amín$), es la diferencia entre la cota mínima del eje y la cota máxima del agujero, que debe ser positiva. El apriete máximo ($Amáx$) se determina como la diferencia entre la cota máxima del eje y la cota mínima del agujero.

Se denomina Tolerancia del ajuste (Ta), cuando es apriete, a la diferencia entre el apriete máximo y el apriete mínimo, valor que coincide con la suma de las tolerancias de eje y agujero. En este tipo de ajustes es necesario, dependiendo del apriete buscado, montar el acoplamiento a mano, con mazos, o incluso con una prensa. Cuando el apriete es muy elevado se opta por calentar alguna de las piezas antes del acoplamiento, o bien tallar un cono de entrada en el eje.

$$Amín) = cmín - Cmáx \quad \text{donde} \quad cmín > Cmáx$$

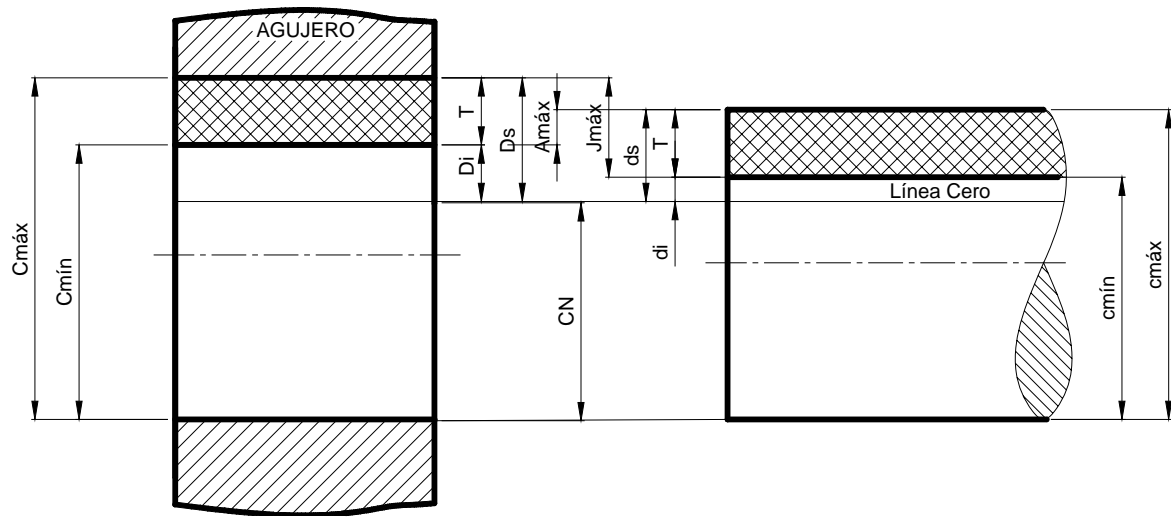
$$Amáx) = cmáx - Cmín$$

$$Ta = Amáx - Amín = Tag + Teje.$$



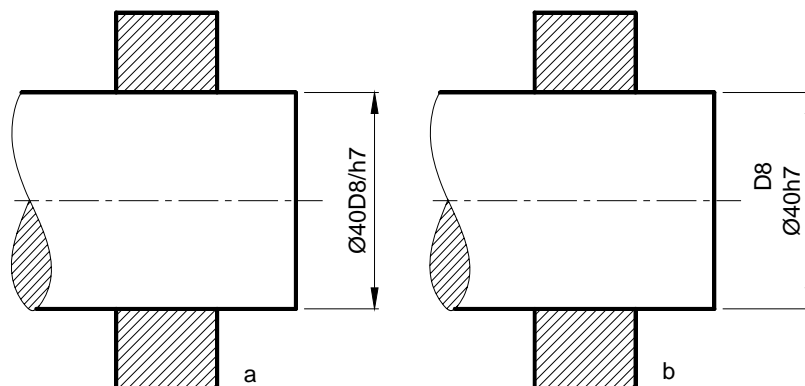
5.19.3.- AJUSTES INDETERMINADOS.

Son aquellos en los que el ajuste resultante al montar las piezas puede resultar con juego o con apriete. Se denomina *Tolerancia del ajuste Indeterminado* a la suma del juego máximo y apriete máximo, valor que coincide con la suma de las tolerancias de eje y agujero.



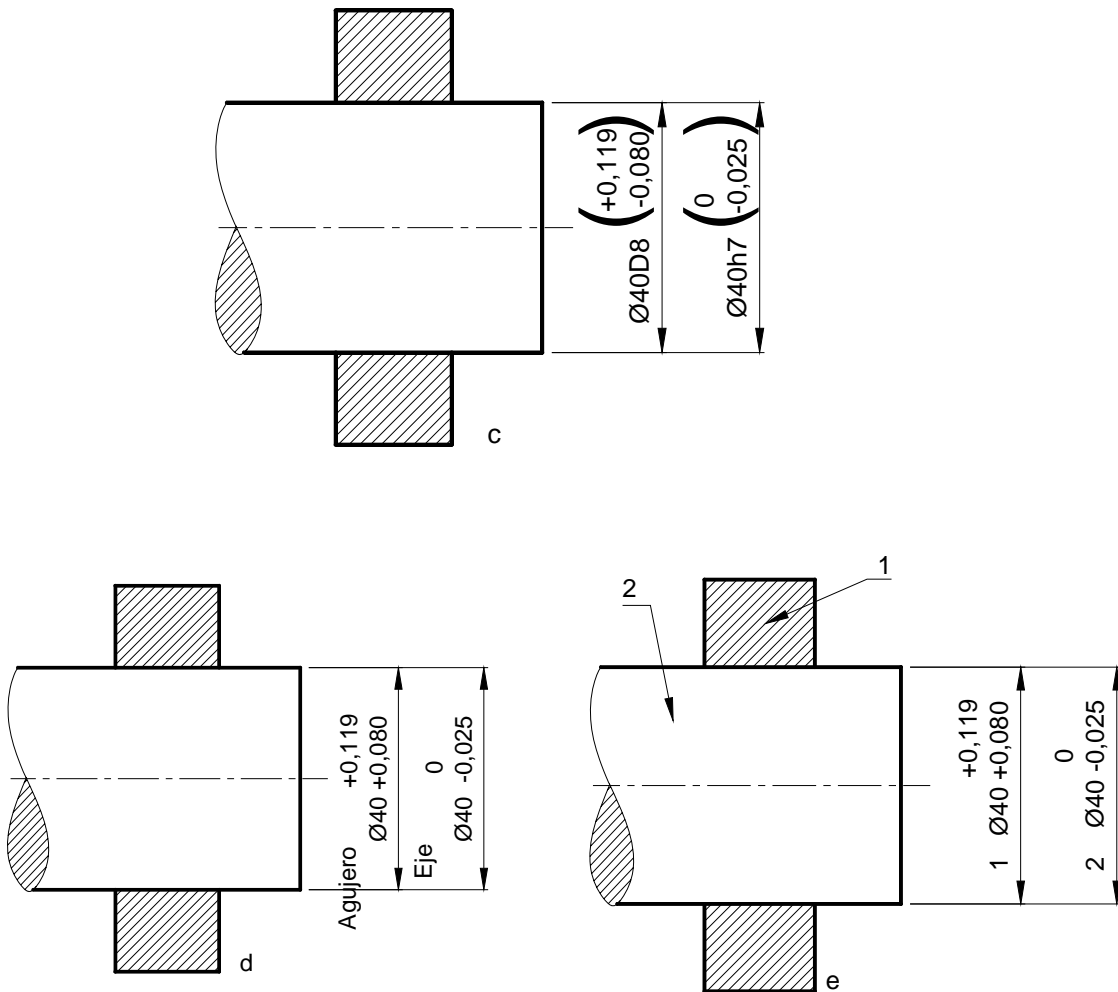
5.20.- DESIGNACION DE AJUSTES.

La designación ISO se representa por:



Si fuera necesario indicar los valores numéricos de las desviaciones, éstos deben colocarse entre

paréntesis

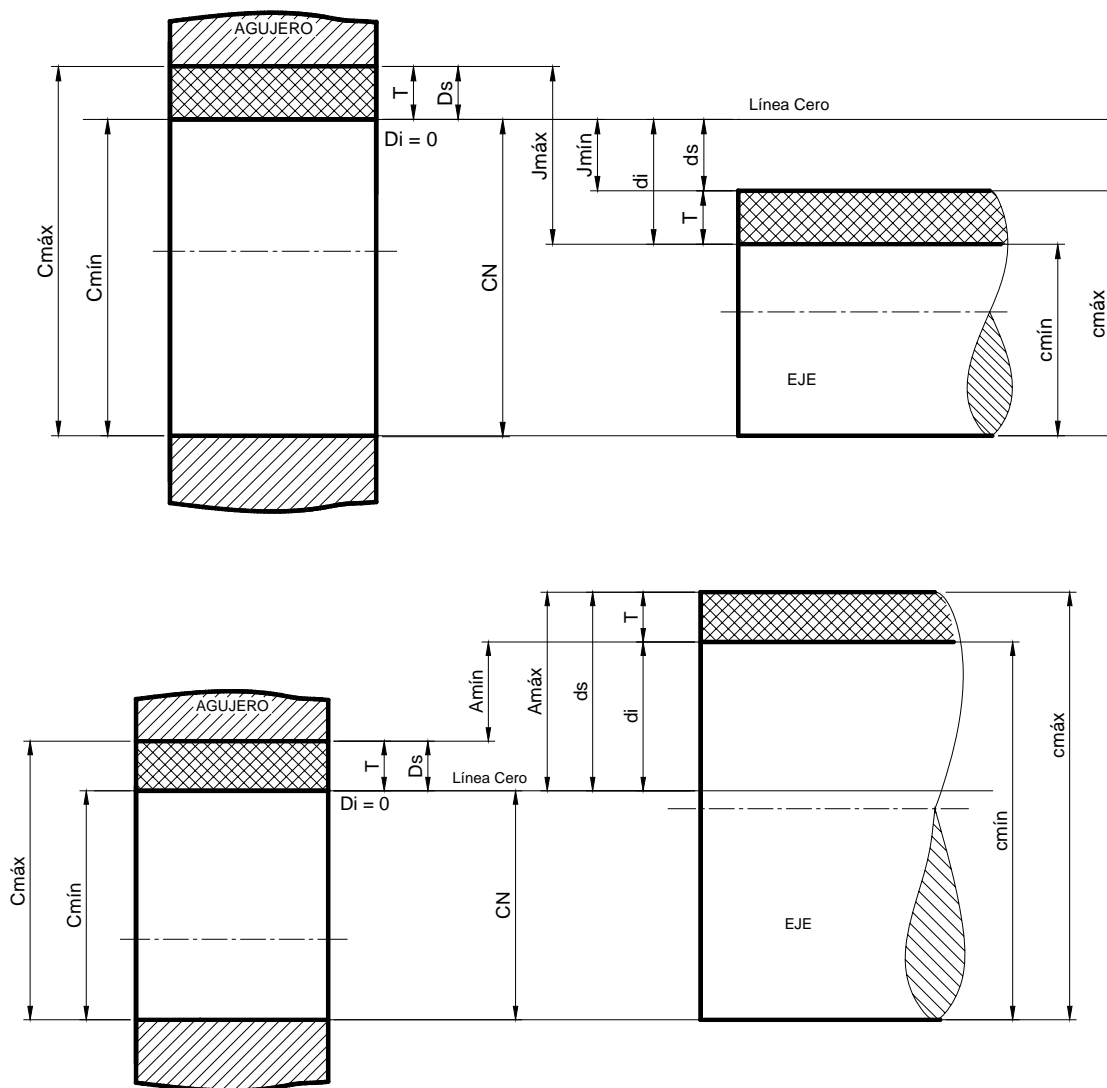


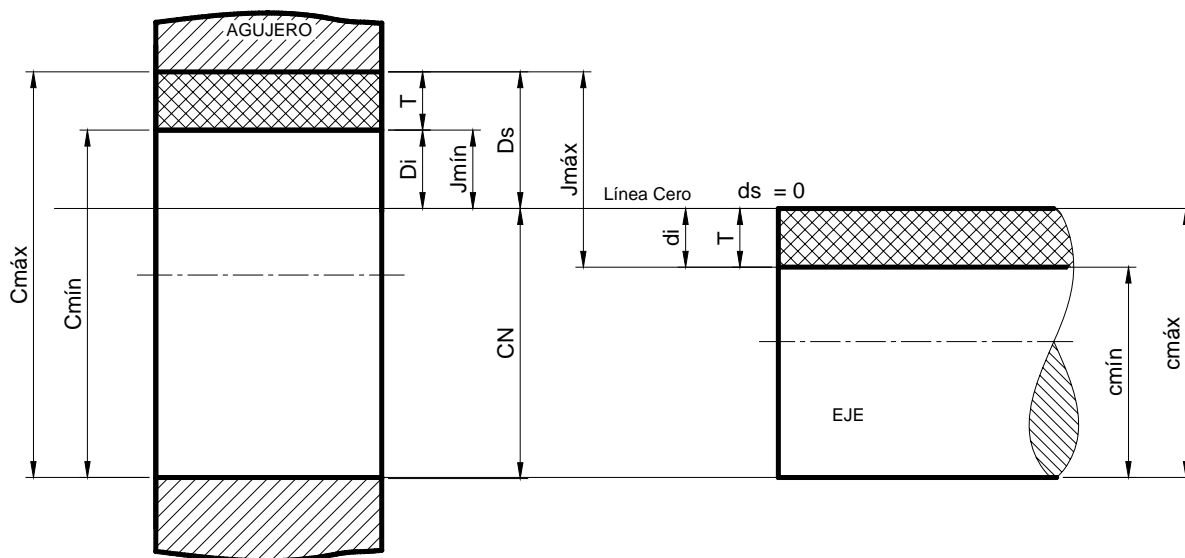
5.21.- SISTEMAS ISO DE AJUSTE

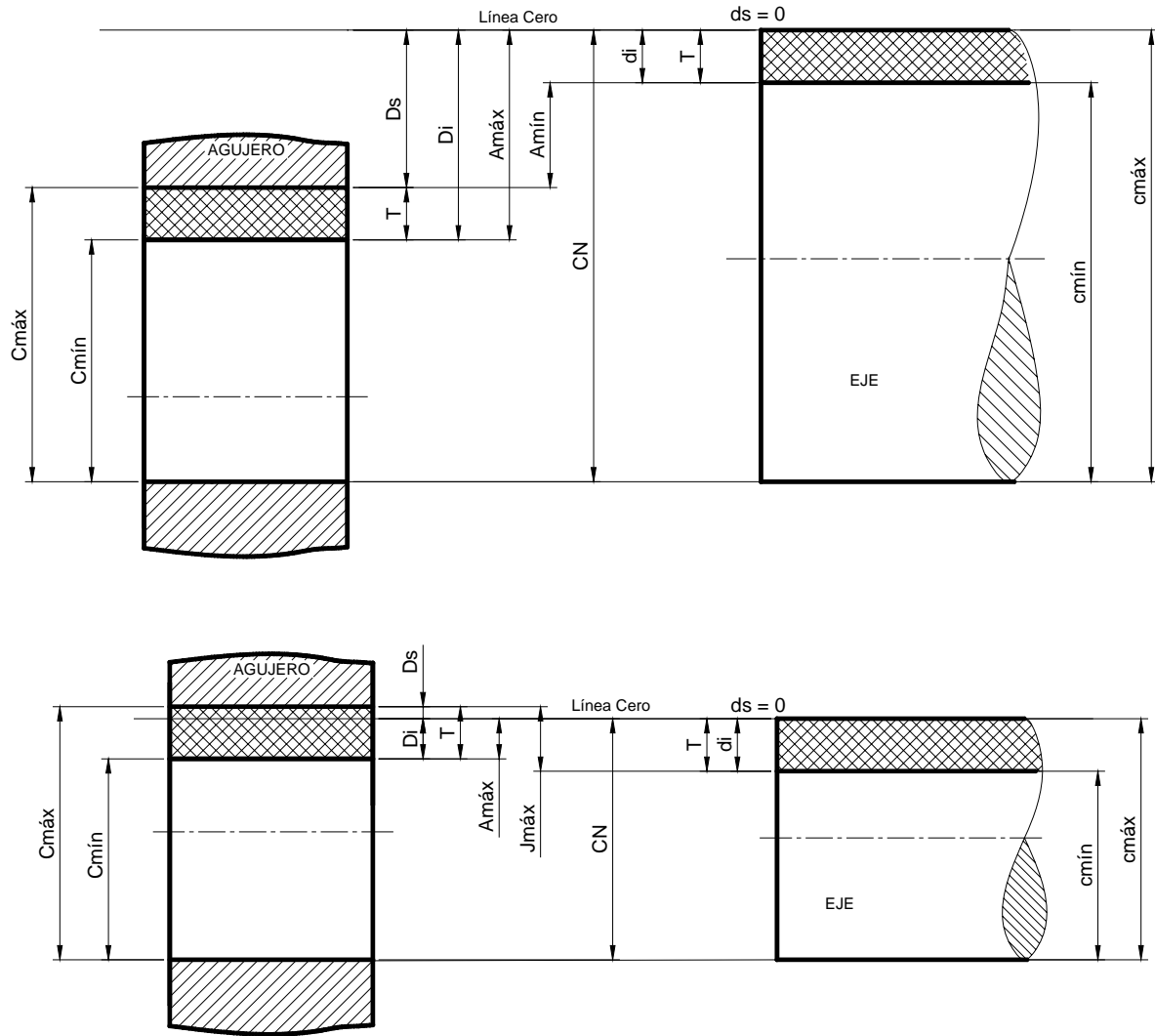
Como podemos deducir de lo expuesto hasta ahora, para conseguir un ajuste eje – agujero pueden emplearse una gran cantidad de combinaciones. Esto representa, a la vez que una ventaja, un ligero inconveniente, y es la falta de normalización de los sistemas de ajuste empleados en la fabricación de mecanismos. ISO percibe este problema y propone la utilización de sólo dos sistemas de ajuste, los denominados de agujero único o agujero base, y de eje único o eje base. Estos sistemas de ajuste son una serie sistemática de acoplamientos objeto de determinadas combinaciones de zonas de tolerancia.

5.21.1.- AGUJERO ÚNICO

Se emplea generalmente en la fabricación de máquinas, automóviles, herramientas, y es el más usado en la industria moderna. Esto es debido a que en el caso de agujero único se mecaniza el eje para adaptarlo al tipo de ajuste deseado, fijando la posición de la zona de tolerancia del agujero de forma que su desviación inferior (D_i) sea cero, es decir, hablamos de una posición H. La mecanización de ejes mediante máquinas – herramienta es más fácil que la de agujeros, lo que permite entender la preferencia en el uso de este sistema de ajuste. Muchos elementos de máquinas vienen perfectamente normalizados en cuanto a su tolerancia, por ejemplo los rodamientos, por lo que sólo se determinará la tolerancia necesaria en el mecanizado del eje que encaje en ellos.







5.21.3.- SISTEMA MIXTO

Es un sistema en el que se evitan las posiciones H y h de agujero y eje, aunque sólo se recomienda cuando no se pueden emplear los sistemas de agujero o eje único.

5.22.- UTILIZACIÓN DE LOS AJUSTES

Como es lógico, una empresa no puede disponer de recursos para conseguir fabricar cualquier calibre con todos los grados de calidad. Esto sería excesivamente costoso. Por ello, se suelen escoger los ajustes estrictamente necesarios para abarcar el campo de fabricación de la

empresa. Contando con la experiencia del fabricante, factor de especial importancia, se pueden dar algunas recomendaciones generales para la selección del sistema de ajuste de un determinado mecanismo. Algunas variables que es preciso tener en cuenta son:

1.- Material de las piezas.

2.- Estado superficial. Es contradictorio el fabricar una pieza con una tolerancia muy baja, si vamos a mecanizar su superficie con una rugosidad muy alta

3.- Matriz de esfuerzos que va a soportar el acoplamiento.

4.- Temperatura en reposo y en funcionamiento. Es un factor de importancia, debido a las dilataciones que va a experimentar el material. La alineación de los ejes de las piezas hembra y macho debe conocerse con exactitud, sobre todo en acoplamientos móviles. En este caso, el estudio de las tolerancias de forma y posición debe ser riguroso.

5.- Velocidad de funcionamiento, desgaste y lubricación. Todas estas variables suelen considerarse en conjunto, siendo de especial relevancia en ajustes móviles. En ajustes fijos deberemos tener muy en cuenta los aprietes mínimo y máximo. El primero será empleado básicamente para el diseño de la resistencia a esfuerzos axiales y momentos de torsión, mientras que el segundo servirá como parámetro de entrada en el cálculo de las tensiones admisibles por el material (espesores, ejes huecos o macizos, longitud de la pieza hembra, etc.) y las necesidades de presión para el montaje y desmontaje del acoplamiento.

6.- Hay que huir de buscar un acoplamiento con una calidad muy alta, ya que también va a ser un ajuste más caro. Como decíamos al principio de este capítulo, es necesario acogerse a una calidad suficiente, y solo suficiente, para la funcionalidad del mecanismo diseñado.

7.- Si es posible, los índices de tolerancia no deben variar en más de dos unidades entre eje y agujero.

5.23.- TOLERANCIA DE AJUSTE

Es la suma de las tolerancias del eje y el agujero y significa la variación permitida para el juego o apriete. Se la representa por T_a .

$$T_a = T_{eje} + T_{agujero} = T_e + T_a$$

5.23.1.- AJUSTE MOVIL

En los ajustes o asientos de juego, la tolerancia de ajuste es igual a la diferencia entre el juego máximo y el mínimo.

$$Ta = J_{\text{máx}} - J_{\text{mín}}$$

5.23.2.- AJUSTE INDETERMINADO.

En los ajustes o asientos indeterminados, la tolerancia de ajuste es igual a la suma del juego máximo y el apriete máximo.

$$Ta = J_{\text{máx}} + Am_{\text{máx}}$$

5.23.3.- APRIETE.

En los ajustes o asientos de apriete, la tolerancia de ajuste es igual a la diferencia entre el apriete máximo y mínimo.

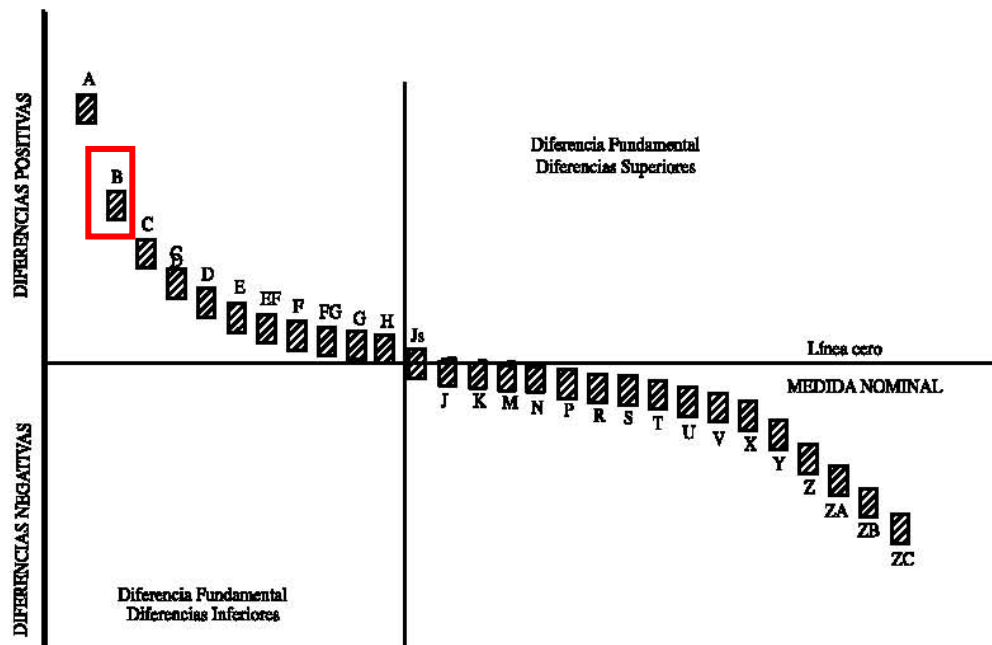
$$Ta = Am_{\text{máx}} - Am_{\text{mín}}$$

5.24.- PROBLEMAS RESUELTOS

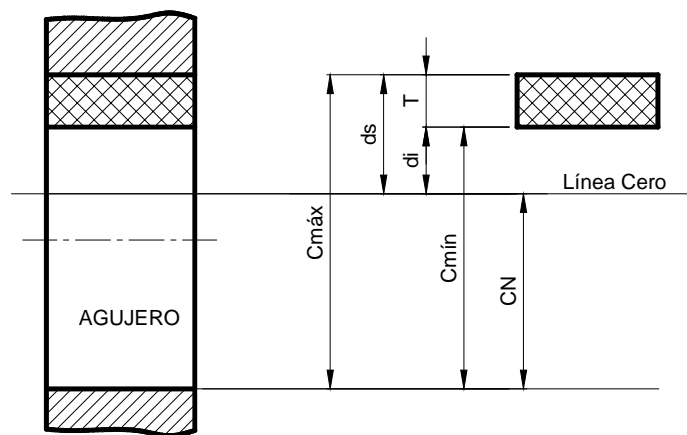
Ejemplo1.- Dada la representación del ajuste $\varnothing 63B9/h6$, en el sistema ISO, determinar su transformación en el sistema ASA.

Solución:

Para el agujero $\varnothing 63B9$



De la representación gráfica de tolerancia para agujeros, con la posición de la letra B se hace el siguiente esquema:



Del esquema:

$$Cmáx = CM = CN + Ds$$

$$Cmín = Cm = CN + Di$$

$$T = Ds - Di$$

Determinación de Di

En la tabla de tolerancia para agujeros, entramos con la cota nominal $\varnothing 63$, la letra B, y se obtiene:

$$Di = 190\mu = 0,190 \text{ mm.}$$

POSICIONES DE LA TOLER																
Designación		Designación en el límite inferior														
Letra		A	B	C	CD	D	E	EF	F	FG	G	H	JS	J	K	M
Grado		Todos los grados												6	7	8
Mayor	Menor															
1	3	270	40	60	94	20	14	10	6	4	2	0		2	4	6
3	6	270	40	70	105	30	20	14	10	6	4	0		2	4	10
6	10	200	50	80	120	40	25	18	12	8	5	0		2	5	12
10	14	250	60	95	130	50	32	20	16	10	6	0		3	6	15
14	18															
18	24	300	70	110	140	60	40	25	20	12	8	0		4	8	20
24	30															
30	40	310	80	120	150	70	50	30	25	15	10	0		5	10	24
40	50	320	90	130												
50	65	360	100	140	160	80	60	35	30	18	12	0		7	12	28
65	80															
...

Determinación de la tolerancia T:

En la tabla de grados de calidad ISO, entramos con los valores de la calidad IT9 y de la cota nominal Ø63, se obtiene:

$$T = 74\mu = 0,074 \text{ mm.}$$

COTA NOMINAL		GRADOS DE CALIDAD ISO														
MILIMETROS																
Mas de	Hasta	IT 01	IT 0	IT 1	IT 2	IT 3	IT 4	IT 5	IT 6	IT 7	IT 8	IT 9	IT 10	IT 11	IT 12	IT 13
0	3	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100	140
3	6	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180
6	10	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	150	220
10	18	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270
18	30	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210	330
30	50	0,6	1	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250	390
50	80	0,8	1,2	2	3	5	8	12	19	30	48	74	120	190	300	460
80	120	1	1,5	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350	540
120	180	1,2	2	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400	630

Determinación de Ds

Del esquema, se sabe:

$$T = D_s - D_i, \text{ luego despejamos } D_s$$

$$D_s = T + D_i \text{ y reemplazamos los valores obtenidos y tenemos:}$$

$$D_s = 0,074 + 0,190 = 0,264 \text{ mm.}$$

Determinación del diámetro menor:

Del esquema se sabe:

$$C_{\min} = CN + D_i, \text{ pero } CN = 63 = 63,000 \text{ y } d_i = 0,190 \text{ mm., Se tiene:}$$

$$C_{\min} = CN + D_i = 63,000 + 0,190 = 63,19 \text{ mm.}$$

$$C_{\min} = C_m = 63,19 \text{ mm.}$$

Determinación del diámetro mayor:

Del esquema, tenemos:

$$C_{\max} = CN + D_s$$

$$C_{\max} = CN + D_s = 63,000 + 0,264 = 63,264 \text{ mm.}$$

$$C_{\max} = CM = 63,264 \text{ mm.}$$

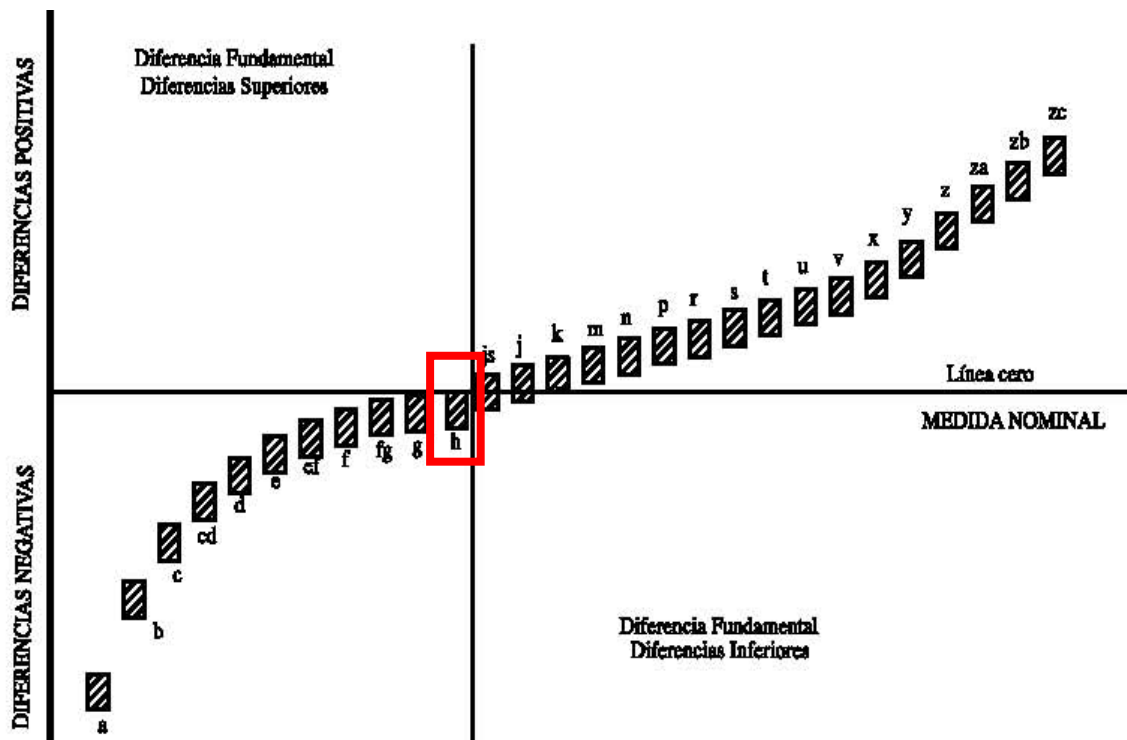
Representación en el sistema ASA

a.- Valores máximos y mínimos: 63,264 - 63,190

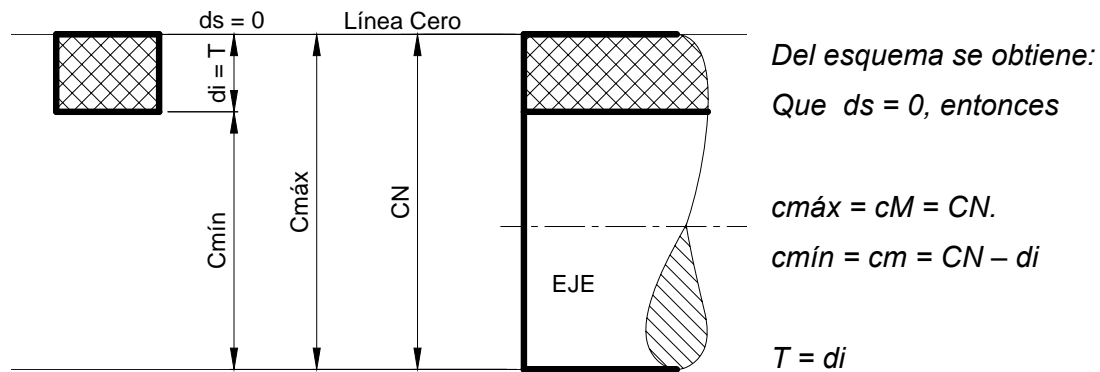
b.- Desviaciones: +0,264
+0,190

Ø63

Para el eje Ø63h6



De la representación gráfica de ejes, para la posición de la letra h, se hace el siguiente esquema:



Determinación de la tolerancia

En la tabla de grados de calidad ISO, Para IT6 y $\varnothing 63$, se obtiene:

$$T = 19\mu = 0,019 \text{ mm.}$$

COTA NOMINAL		GRADOS DE CALIDAD ISO															
MILIMETROS																	
Mas de	Hasta	IT 01	IT 0	IT 1	IT 2	IT 3	IT 4	IT 5	IT 6	IT 7	IT 8	IT 9	IT 10	IT 11	IT 12	IT 13	IT 14
0	3	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	200
3	6	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	250
6	10	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	150	220	300
10	18	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270	360
18	30	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210	330	450
30	50	0,6	1	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250	390	540
50	80	0,8	1,2	2	3	5	8	12	19	30	46	74	120	190	300	460	630
80	120	1	1,5	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350	540	800
120	180	1,2	2	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000

Del esquema se sabe:

$$cmáx = CN = 63 \text{ mm. Ya que } ds = 0$$

$$cmáx = cM = 63 \text{ mm.}$$

$$cmín = CN - di = 63,000 - 0,019 = 62,981 \text{ mm.}$$

$$cmín = cm = 62,981 \text{ mm}$$

Representación en el sistema ASA:

a.- Valores máximos y mínimos:

$$63,000 - 62,981$$

b.- Desviaciones:

$$0$$

$$-0,019$$

$$\varnothing 63$$

Ejemplo 2.- La figura muestra un ensamble bocina - eje. En el sistema empleado las calidades de tolerancia de la bocina y del eje tienen una diferencia de un grado, siendo la calidad de la bocina mayor. Se sabe que la tolerancia del eje más la tolerancia de la bocina es 89μ (Tolerancia del Ajuste). Los datos para el ajuste bocina - eje son los siguientes:

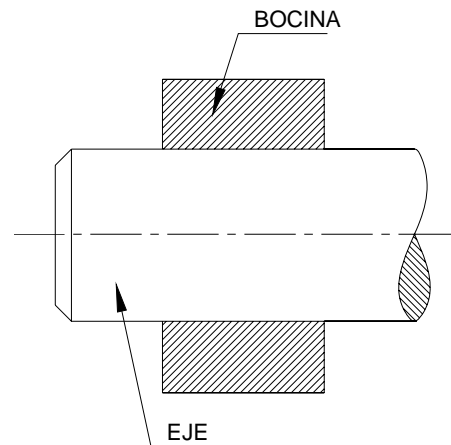
Cota Nominal es 100,000 mm. (BOCINA)

El juego máximo es 0,051 mm.

Δ es de 0,019mm (Δ = valor de tabla para AGUJEROS)

La cota máxima del eje es de 100,000 mm.

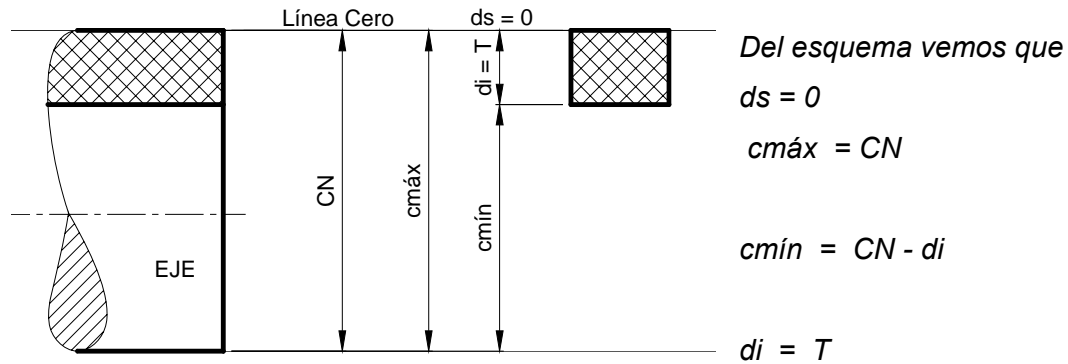
Determinar la designación en el sistema ISO, para el ensamble bocina - eje



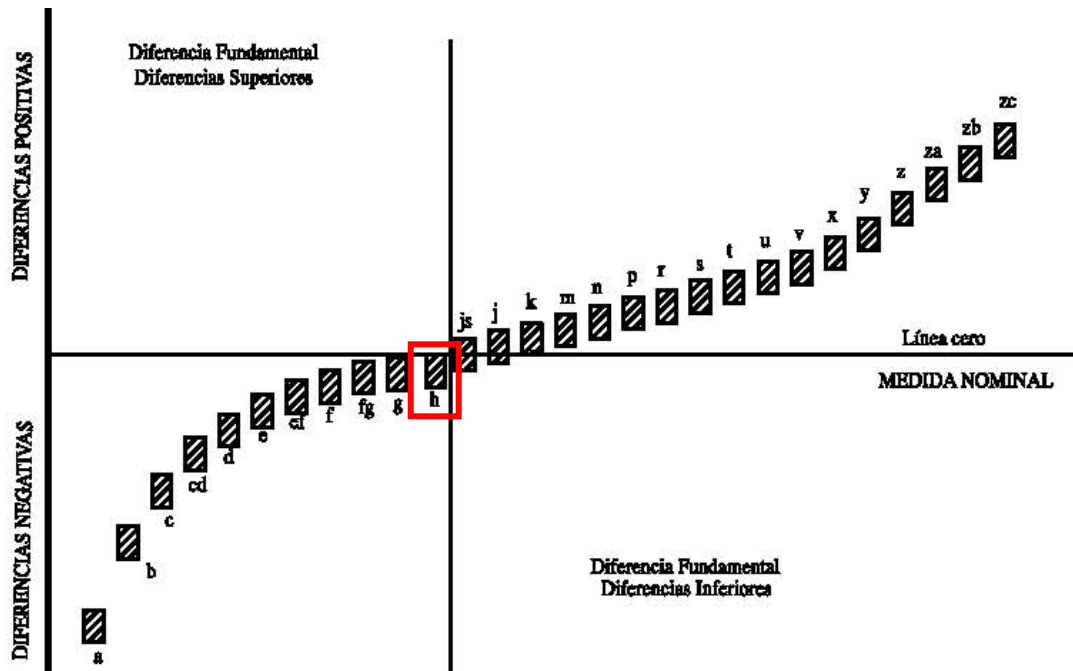
Solución:

Como la cota nominal CN (agujero) = $cmáx$ (eje) = 100, se puede hacer el siguiente esquema, para el eje:

Determinación de la posición del eje.



En la representación gráfica de la posición de la tolerancia para el eje, se tiene que:
Si el límite superior $ds = 0$, se obtiene la posición h .



Determinación de la calidad para el agujero

En la tabla de las posiciones de la tolerancia para agujeros, para $CN = 100 \text{ mm}$ y $\Delta = 0,190 \text{ mm} = 19\mu$, se obtiene la calidad 8 o IT8.

Determinación de la tolerancia

Con los datos IT7 y CN = 100, entramos a la tabla de grados de Calidad ISO, se obtiene para el eje una tolerancia de:

$$T = 35\mu = 0,035 \text{ mm.}$$

COTA NOMINAL MILIMETROS		GRADOS DE CALIDAD ISO													
Mas de	Hasta	IT 01	IT 0	IT 1	IT 2	IT 3	IT 4	IT 5	IT 6	IT 7	IT 8	IT 9	IT 10	IT 11	IT 12
0	3	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100
3	6	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	120
6	10	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	150
10	18	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180
18	30	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210
30	50	0,6	1	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250
50	80	0,8	1,2	2	3	5	8	12	19	30	46	74	120	190	300
80	120	1	1,5	2,5	4	6	10	15	25	35	54	87	140	220	360
120	180	1,2	2	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400

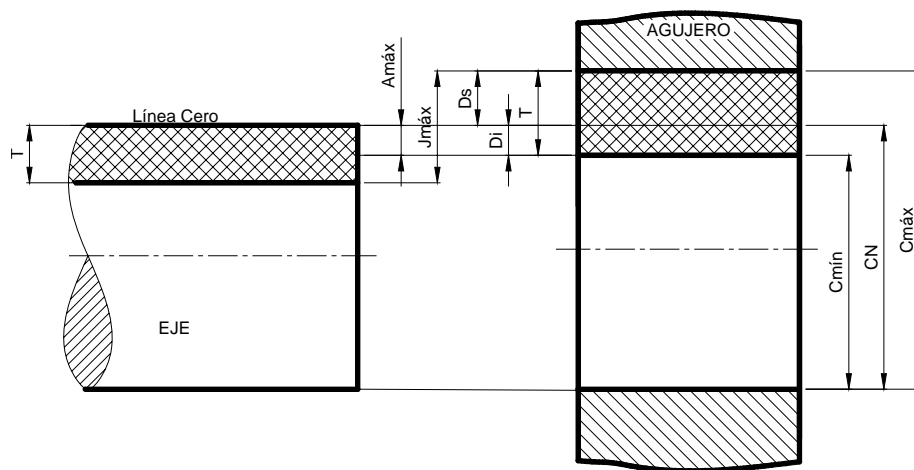
Determinación del diámetro menor para el eje

Del esquema: $cmín = CN - T = 100 - 0,035$

$$cmín = 99,965 \text{ mm.}$$

Determinación del diámetro máximo para el agujero

Empleando el $Jmáx$, se hace el siguiente esquema:



Del esquema se tiene:

$$J_{\max} = C_{\max}(\text{agujero}) - C_{\min}(\text{eje})$$

$$C_{\max}(\text{agujero}) = J_{\max} + C_{\min}(\text{eje})$$

$$C_{\max}(\text{agujero}) = 0,051 + 99,965 = 100,016 \text{ mm}$$

$$C_{\max}(\text{agujero}) = 100,016 \text{ mm.}$$

Como $C_{\max} = 100,016 \text{ mm}$, se deduce que $D_s = 0,016 \text{ mm}$.

Para el agujero:

Determinación de la tolerancia

Entramos a la tabla de grado de calidad ISO, con IT8 y CN =100, se obtiene:

$$T = 54 \mu = 0,054 \text{ mm.}$$

COTA NOMINAL		GRADOS DE CALIDAD ISO													
MILIMETROS															
Mas de	Hasta	IT 01	IT 0	IT 1	IT 2	IT 3	IT 4	IT 5	IT 6	IT 7	IT 8	IT 9	IT 10	IT 11	IT 12
0	3	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100
3	6	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	120
6	10	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	150
10	18	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180
18	30	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210
30	50	0,6	1	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250
50	80	0,8	1,2	2	3	5	8	12	19	30	46	74	120	190	300
80	120	1	1,5	2,5	4	7	10	15	22	35	54	87	140	220	350
120	180	1,2	2	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400

Determinación de la desviación inferior

Del esquema: $T = D_s + D_i$

$$D_i = T - d_s = 0,054 - 0,016 = 0,038 \text{ mm.}$$

$$D_i = 38\mu$$

En general para desviación superior D_s ,

En la tabla para las posiciones de la tolerancia para agujeros:

$$D_s = -x + \Delta$$

reemplazando los valores de D_s y Δ , se obtiene:

$0,016 = -x + 0,019$, despejando x se tiene:

$$-x = -0,003 \text{ mm} = -3\mu \rightarrow x = 3\mu,$$

En la misma tabla para $D_s = -3+\Delta$, se obtiene la posición K.

		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
		POSICIONES DE L																			
		Desviación		Desviación en el límite inferior																	
		Letra		A	B	C	CD	D	E	EF	F	FG	G	H	JS	J			K		
		Grado		Tolerancias en grados										6	7	8	9	10	11		
Ø nominal en milímetros	Más de	Hasta																			
	1	3	270	140	60	34	20	14	10	6	4	2	0				2	4	6	0	0
	3	6	270	140	70	46	30	20	14	10	6	4	0				2	4	10	- +Δ	-
	6	10	280	150	80	56	40	25	18	13	8	5	0				2	5	12	- +Δ	-
	10	14	290	150	95	-	50	32	-	16	-	6	0				3	6	15	- +Δ	-
	14	18																			
	18	24	300	160	110	-	65	40	-	20	-	7	0				4	8	20	- +Δ	-
	24	30																			
	30	40	310	170	120	-	80	50	-	25	-	9	0				5	10	24	- +Δ	-
	40	50	320	180	130																
	50	65	340	190	140	-	100	60	-	30	-	10	0				7	12	28	- +Δ	-
	65	80	360	200	150																
	80	100	380	220	170	-	120	72	-	36	-	12	0				9	15	34	-3 +Δ	-
	100	120	410	240	180																
	120	140	460	260	200																

El agujero se representará en el sistema ISO por:

Ø100K8

El ajuste se representa en el sistema ISO por:

Ø100K8/h7

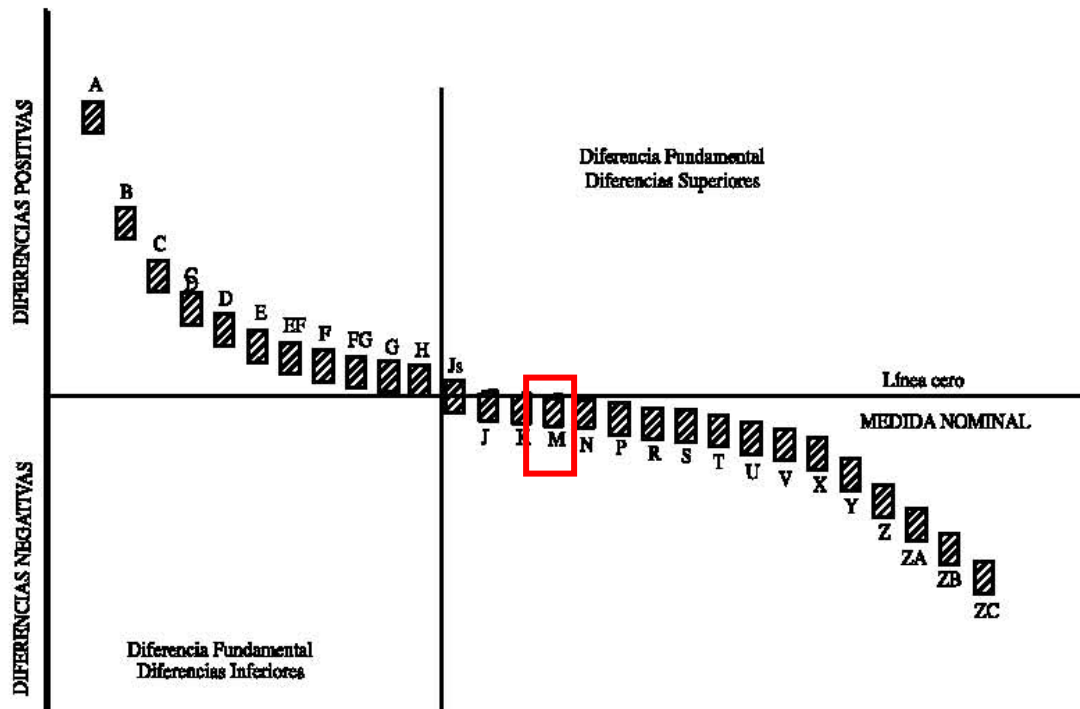
Ejemplo 3.- Dado el ajuste $\varnothing 20M6/h5$, determinar:

El juego máximo, el juego mínimo, el apriete máximo, el apriete mínimo y la tolerancia del ajuste

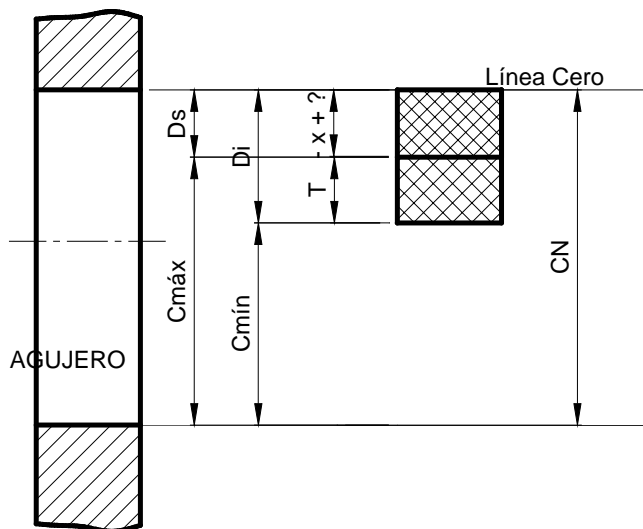
Solución:

Para el agujero: $\varnothing 20M6$

Para hacer el esquema, entramos al gráfico de tolerancia para agujeros y para la letra M.



Se obtiene el esquema:



Del esquema:

$$Cmáx = CN - Ds \quad (1)$$

$$Cmín = CN - Di \quad (2)$$

$$T = Di - Ds \quad (3)$$

$$Ds = -x + \Delta \quad (4)$$

Determinación de la cota máxima:

En la tabla posiciones de tolerancia para agujeros, entramos con la cota nominal $\varnothing 20$, la letra M y se determina:

$$Ds = -8 + \Delta$$

POSICIONES DE LA TOLERANCIA P																								
Desviación		Desviación en el límite inferior																						
Letra		A	B	C	CD	D	E	EF	F	FG	G	H	JS	J			K		M				N	P
Grado		Todos los grados												6	7	8	< 8	> 8	< 8	> 8	≤ 8	> 8		
Mas de	Hasta																							
1	3	270	140	60	34	20	14	10	6	4	2	0		2	4	6	0	0		-2	-4	-4		
3	6	270	140	70	46	30	20	14	10	6	4	0		2	4	10	-1 + Δ	-	-4 + Δ	-4	-8 + Δ	0		
6	10	280	150	80	56	40	25	18	13	8	5	0		2	5	12	-1 + Δ	-	-6 + Δ	-6	-10 + Δ	0		
10	14	290	150	95	-	50	32	-	16	-	6	0		3	6	15	-1 + Δ	-	-7 + Δ	-7	-12 + Δ	0		
14	18																							
18	24	300	160	110	-	65	40	-	20	-	7	0		4	8	20	-2 + Δ	-	-8 + Δ	-8	-15 + Δ	0		
24	30																							
30	40	310	170	120	-	80	50	-	25	-	9	0		5	10	24	-2 + Δ	-	-9 + Δ	-9	-17 + Δ	0		

En la misma tabla y en el mismo renglón:

Para el grado de calidad 6 se obtiene $\Delta = 4$, reemplazando en (4) se obtiene:

$$Ds = -8 + 4 = -4\mu = -0,004 \text{ mm.}$$

Desviación										TABLA Δ					
Letra		A	B	Y	Z	ZA	ZB	ZC							
Grado		> 7								3	4	5	6	7	8
Mas de	Hasta								Δ en micrones						
1	3	270	140	0	-	-26	-32	-40	-60	Δ = 0					
3	6	270	140	8	-	-35	-42	-50	-80	1	2	1	3	4	6
6	10	280	150	4	-	-42	-52	-67	-97	1	2	2	3	6	7
10	14	290	150	0	-	-50	-64	-90	-130	1	2	3	3	7	9
14	18			5	-	-60	-77	-108	-150						
18	24	300	160	4	-62	-72	-88	-120	-180	2	2	3	4	8	12
24	30			4	-75	-88	-118	-160	-218						
30	40	310	170	0	-94	-112	-148	-200	-274						

Reemplazando el valor de D_s sin considerar el signo en (1) se tiene:

$$Cm_{\max} = CN - D_s = 20 - 0,004 = 19,996 \text{ mm.}$$

$$Cm_{\max} = 19,996 \text{ mm.}$$

Determinación de la cota mínima:

Entramos a la tabla de grados de calidad ISO, con la calidad IT6 y $\varnothing 20$

COTA NOMINAL		GRADOS DE CALIDAD ISO													
MILIMETROS															
Mas de	Hasta	IT 01	IT 0	IT 1	IT 2	IT 3	IT 4	IT 5	IT 6	IT 7	IT 8	IT 9	IT 10	IT 11	IT 12
0	3	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100
3	6	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	120
6	10	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	6	10	15	22	36	58	90	150
10	18	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	12	18	27	43	70	110	180
18	30	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210
30	50	0,6	1	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250
50	80	0,8	1,2	2	3	5	8	12	19	30	46	74	120	190	300

Se obtiene: $T = 13\mu$, reemplazando este valor en (3) se tiene:

$$Di = T + Ds = 13 + 4 = 17\mu = 0,017 \text{ mm.},$$

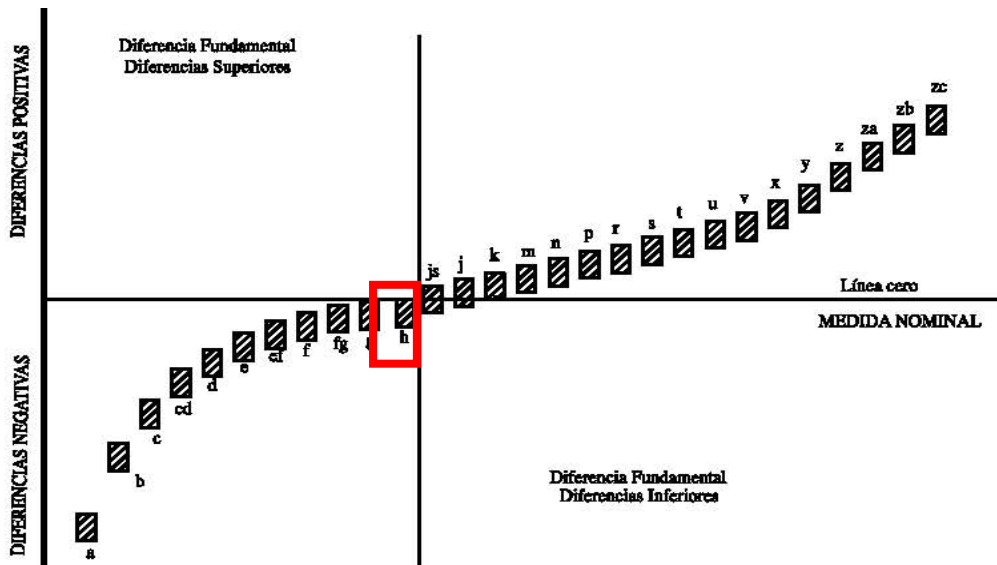
Reemplazando este valor en (2) se tiene:

$$C_{\min} = CN - Di = 20 - 0,017 = 19,983 \text{ mm}$$

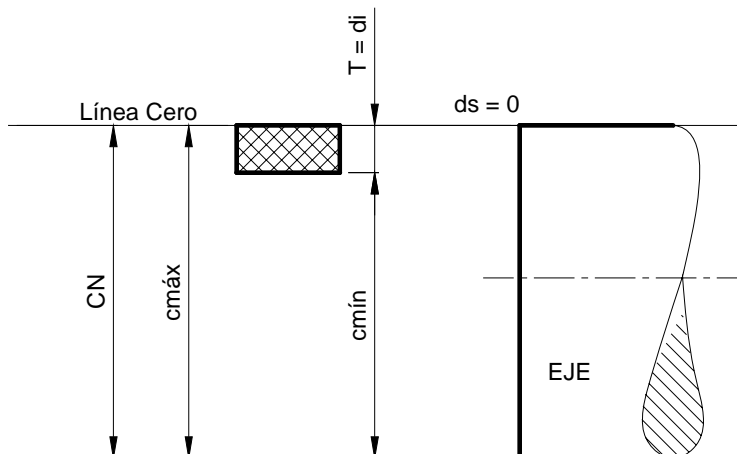
$$C_{\min} = 19,983 \text{ mm.}$$

Para el eje $\varnothing 20h5$

En el gráfico de tolerancia para eje, para la letra h



Se obtiene el siguiente esquema:



Del esquema:

Para la letra h se tiene $ds = 0$

Entonces, la cota máxima:

$$cmáx = CN \quad (4)$$

$$cmín = CN - di = CN - T \quad (5)$$

$$di = T \quad (6)$$

Determinación de la cota máxima:

Del esquema:

Como $ds = 0$, y la cota nominal CN es igual al diámetro máximo del eje, reemplazando en 4, se tiene:

$$cmáx = 20 \text{ mm.}$$

Determinación de la cota mínima:

Entramos a la tabla de grados de calidad ISO, con la calidad IT5 y $\varnothing 20$.

COTA NOMINAL		GRADOS DE CALIDAD ISO														
MILIMETROS																
Mas de	Hasta	IT 01	IT 0	IT 1	IT 2	IT 3	IT 4	IT 5	IT 6	IT 7	IT 8	IT 9	IT 10	IT 11	IT 12	
0	3	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100	
3	6	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	6	8	12	18	30	48	75	120	
6	10	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	150	
10	18	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180	
18	30	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210	
30	50	0,6	1	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250	
50	80	0,8	1,2	2	3	5	8	12	19	30	46	74	120	190	300	
80	120	1	1,5	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350	

Se obtiene la tolerancia:

$$T = 9\mu = 0,009 \text{ mm,}$$

Reemplazando el valor de T en (5) se tiene:

$$cmín = CN - T = 20 - 0,009 = 19,991 \text{ mm.}$$

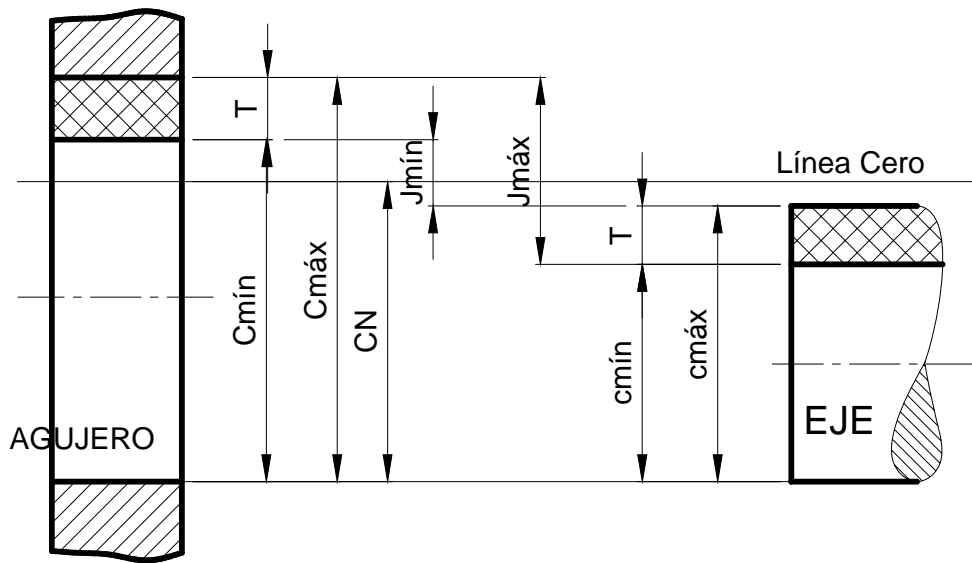
$$cmín = 19,991 \text{ mm.}$$

Reemplazando el valor de la tolerancia T en (6) se tiene:

$$di = T = 9\mu = 0,009 \text{ mm.}$$

$$di = 0,009 \text{ mm.}$$

Hacemos el esquema para el juego máximo y el juego mínimo:



Determinación del Juego máximo:

Del esquema:

$$J_{\text{máx}} = C_{\text{máx}} - c_{\text{mín}}$$

$$J_{\text{máx}} = 19,996 - 19,991 = 0,005 \text{ mm.}$$

$$\mathbf{J_{\text{máx}} = 0,005 \text{ mm.}}$$

Determinación del juego mínimo:

Del esquema:

$$J_{\text{mín}} = C_{\text{mín}} - c_{\text{máx}}$$

$$J_{\text{mín}} = 19,983 - 20 = - 0,017 \text{ mm.}$$

$$\mathbf{J_{\text{mín}} = - 0,017 \text{ mm.}}$$

Como el juego mínimo es negativo entonces se tiene que el:

$$\mathbf{Apriete = Juego Negativo = juego (-)}$$

Entonces existe ajuste indeterminado, lo que indica que el apriete máximo

$$\mathbf{A_{\text{máx}} = J_{\text{mín}} = 17\mu = 0,017 \text{ mm.}}$$

La tolerancia del ajuste será:

$$T_{\text{ajuste}} = A_{\text{máx}} + J_{\text{máx}}$$

$$T_{\text{ajuste}} = 0,017 + 0,005 = 17 + 5 = 22\mu$$

$$T_{\text{ajuste}} = 22\mu$$

Verificando:

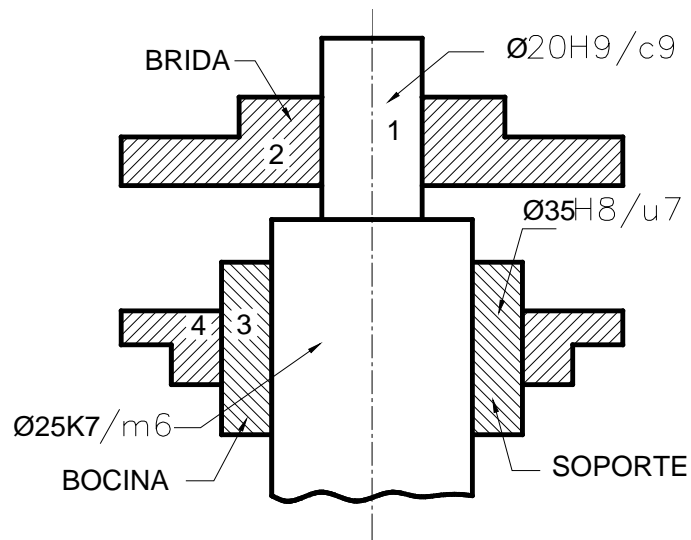
$$T_{\text{ajuste}} = T_{\text{agujero}} + T_{\text{eje}}$$

$$T_{\text{ajuste}} = 13\mu + 9\mu = 22\mu$$

$$T_{\text{ajuste}} = 22\mu$$

Ejemplo 4.- Dado el sistema de ejes y agujeros, se pide determinar:

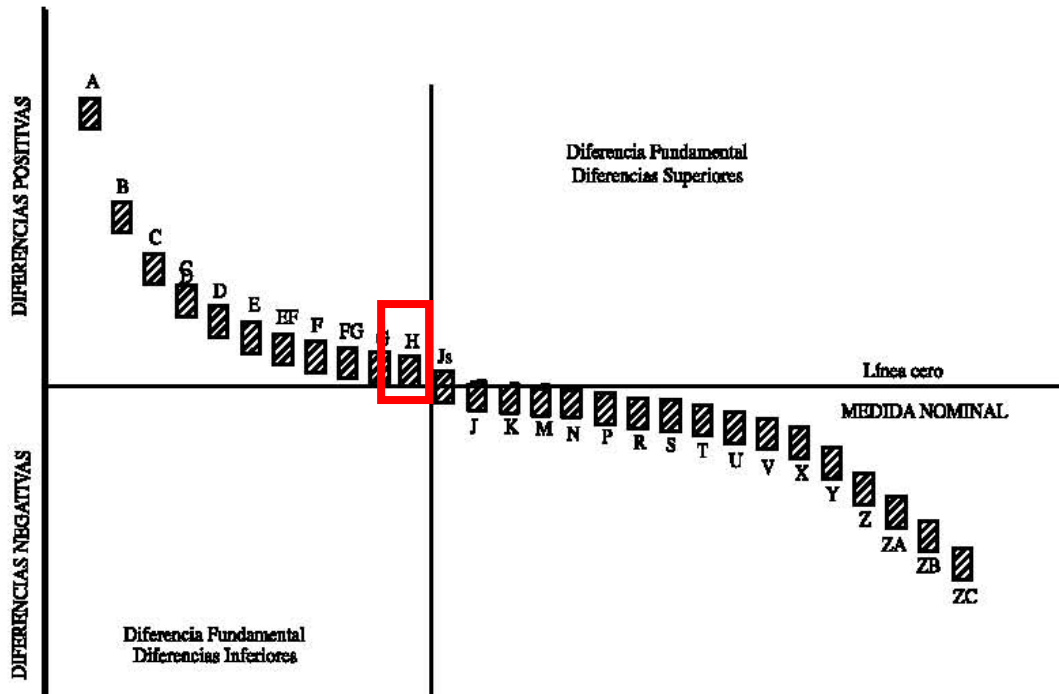
- a.- Cota máxima y cota mínima del agujero central de la brida.
- b.- El ajuste entre la bocina y el eje, cuya cota nominal mide 25mm.
- c.- Espesor máximo y mínimo de la bocina.



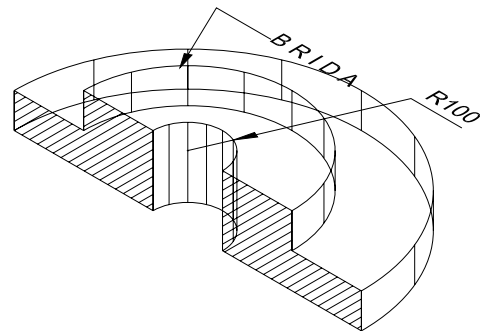
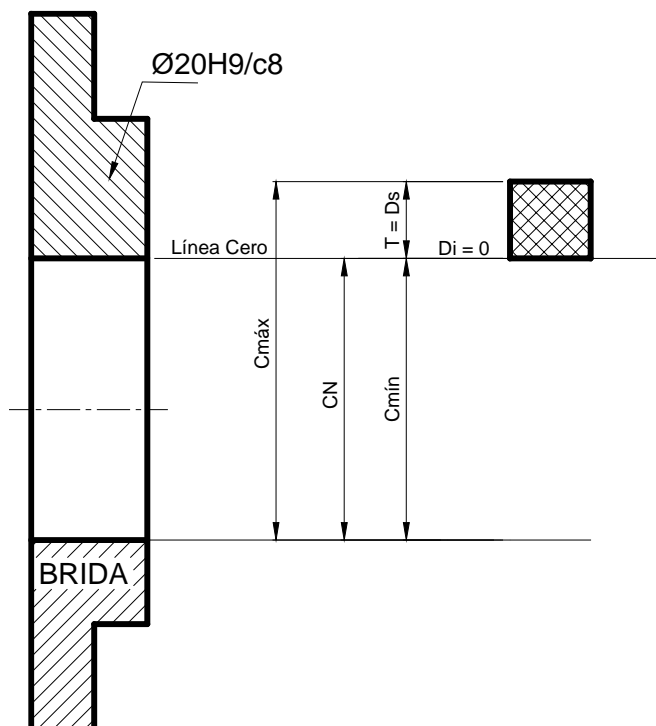
Solución:

a.- Ø20H9 (agujero)

Entramos al gráfico de tolerancias para agujeros:



Para la posición H, se hace el esquema:



Del esquema,

Para la posición H se tiene:

$$D_i = 0 \text{ y } D_s = T \quad (1)$$

$$C_{máx} = C_N + T = C_N + D_s \quad (2)$$

$$C_{mín} = C_N \quad (3)$$

Determinación de la tolerancia:

Entramos a la tabla de grados de calidad ISO, con la calidad IT9 y Ø20, se obtiene:

$$T = 52 \mu = 0,052 \text{ mm.}$$

COTA NOMINAL		GRADOS DE CALIDAD ISO													
MILIMETROS															
Mas de	Hasta	IT 01	IT 0	IT 1	IT 2	IT 3	IT 4	IT 5	IT 6	IT 7	IT 8	IT 9	IT 10	IT 11	IT 12
0	3	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100
3	6	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	120
6	10	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	150
10	18	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	11	18	27	52	70	110	180
18	30	0,6	1	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	52	84	130	210
30	50	0,6	1	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250
50	80	0,8	1,2	2	3	5	8	12	19	30	46	74	120	190	300

Determinación de la cota mínima:

Reemplazando los valores en (3), se tiene:

$$C_{mín} = CN = 20 \text{ mm.}$$

$$C_{mín} = 20,000 \text{ mm.}$$

Determinación de la cota máxima:

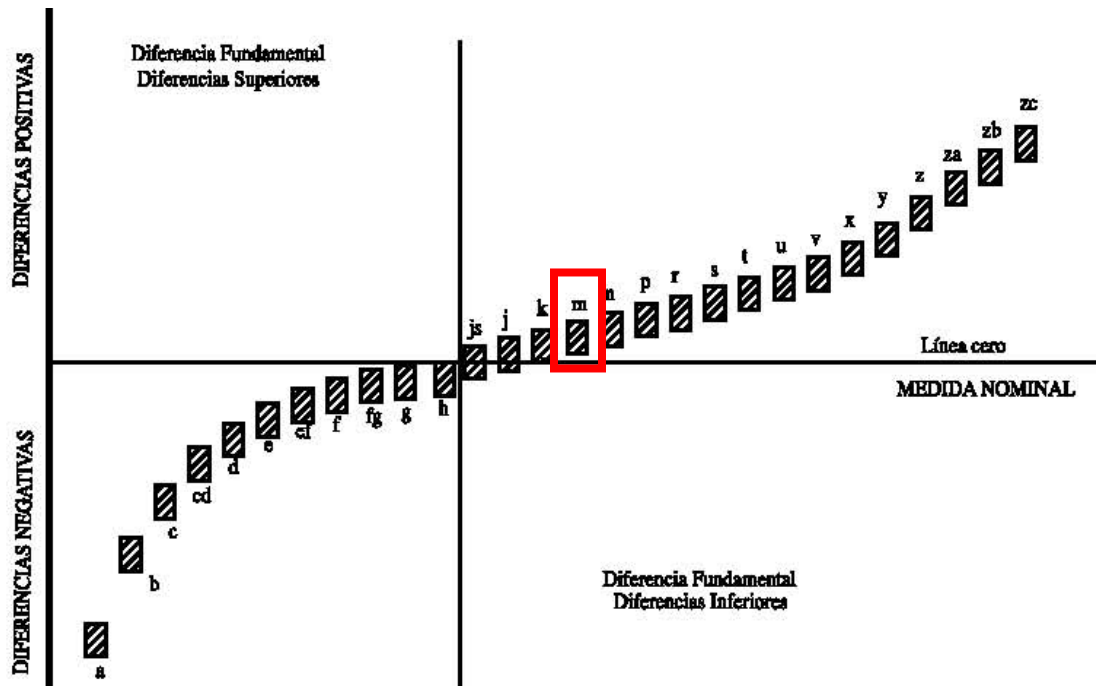
Reemplazando los valores en (2), se tiene:

$$C_{máx} = CN + T = 20 + 0,052$$

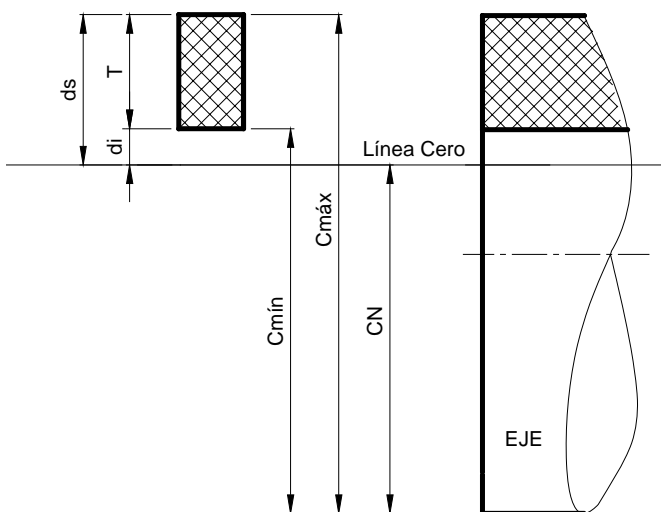
$$C_{máx} = 20,052 \text{ mm.}$$

b.- Ø25m6 (eje)

Entramos al gráfico de tolerancias para ejes:



Para la letra m, se hace el esquema siguiente:



Del esquema se deduce que:

$$ds = T - di$$

$$c_{\text{máx}} = CN + ds \quad (1)$$

$$c_{\text{mín}} = CN + di \quad (2)$$

Determinación de la tolerancia

Entramos a la tabla grados de calidad ISO, con la calidad IT6 y CN = 25 se obtiene:

$$T = 13\mu = 0,013 \text{ mm.}$$

1													
2	COTA NOMINAL		GRADOS DE C										
3	MILIMETROS												
4	Mas de	Hasta	IT 01	IT 0	IT 1	IT 2	IT 3	IT 4	IT 5	IT 6	IT 7	IT 8	IT 9
5	0	3	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	18
6	3	6	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	25
7	6	10	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	30
8	10	18	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	11	18	27	36
9	18	30	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	46
10	30	50	0,6	1	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	54
11	50	80	0,8	1,2	2	3	5	8	12	19	30	46	63

Determinación de la cota máxima:

Reemplazando en la ecuación (1) se tiene:

$$cm_{\max} = CN + ds = 25 + 0,013$$

$$cm_{\max} = 25,013 \text{ mm.}$$

Determinación de la cota mínima:

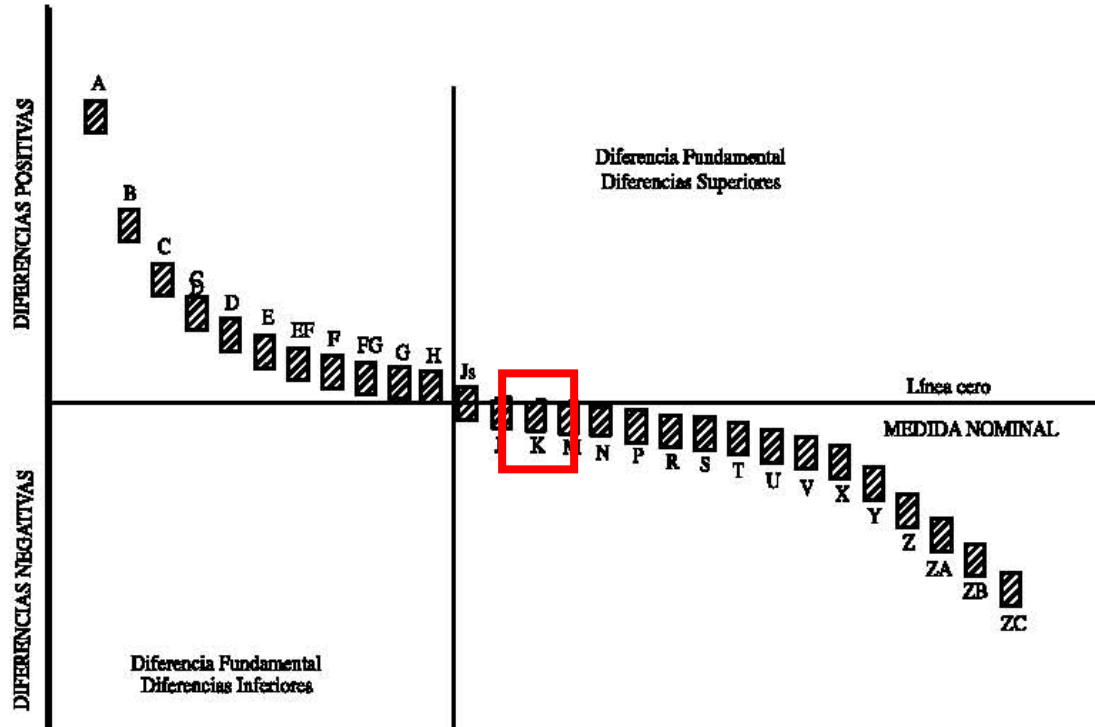
Reemplazando en la ecuación (2) tenemos que:

$$cm_{\min} = CN = 25 \text{ mm.}$$

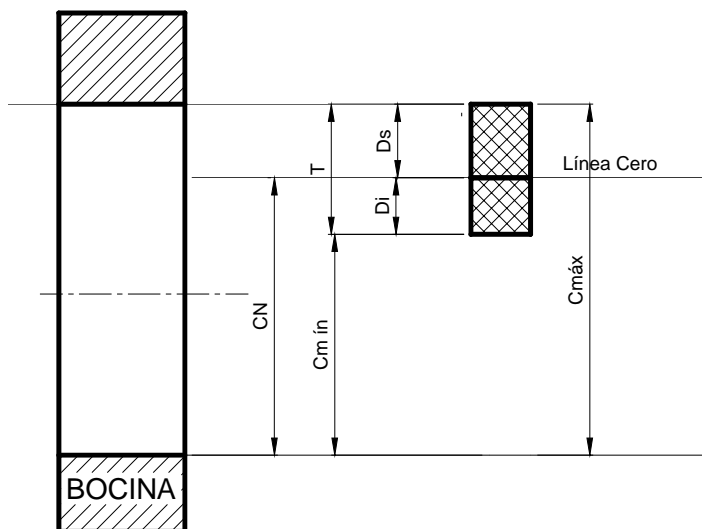
$$cm_{\min} = 25,000 \text{ mm.}$$

Para el agujero:

Entramos al gráfico de tolerancias para agujeros, para la letra K,



Se hace el esquema:



Del esquema:

$$Cmáx = CN - Ds \quad (3)$$

$$Cmín = CN - Di \quad (4)$$

$$T = Di - Ds \quad (5)$$

Entramos a la tabla de tolerancia para agujeros, con la letra K y Ø25 se obtiene:

$$Ds = -2 + \Delta$$

POSICIONES DE LA TO																			
Desviación		Desviación en el límite inferior																	
Letra		A	B	C	CD	D	E	EF	F	FG	G	H	JS	J			K		M
Grado		Todos los grados												6	7	8	< 6	> 8	< 8
Mas de	Hasta																		
1	3	270	140	60	34	20	14	10	6	4	2	0		2	4	6	0	0	-2
3	6	270	140	70	46	30	20	14	10	6	4	0		2	4	10	-1 + Δ	-	-4 + Δ
6	10	280	150	80	56	40	25	18	13	8	5	0		2	5	12	-1 + Δ	-	-6 + Δ
10	14	290	150	95	-	50	32	-	16	-	6	0		3	6	15	-1 + Δ	-	-7 + Δ
14	18																		
18	24	300	160	110	-	65	40	-	20	-	7	0		4	8	20	-2 + Δ	-	-8 + Δ
24	30																		
30	40	310	170	120	-	80	50	-	25	-	9	0		5	10	24	-2 + Δ	-	-9 + Δ
40	50	320	180	130															

En misma tabla, para la calidad 7 se obtiene $\Delta = 8$

Remplazando en la anterior ecuación se tiene:

$$Ds = -2 + 8 = 6\mu = 0,006 \text{ mm.}$$

$$Ds = 0,006 \text{ mm.}$$

Desviación			
Letra		A	
Grado			
Mas de	Hasta		
1	3	270	1
3	6	270	1
6	10	280	1
10	14	290	1
14	18		
18	24	300	1
24	30		

					TABLA Δ					
	Z	ZA	ZB	ZC						
					3	4	5	6	7	8
					Δ en micro es					
					Δ = 0					
	-26	-32	-40	-60	1	2	1	3	4	6
	-35	-42	-50	-80	1	2	1	3	6	7
	-42	-52	-67	-97	1	2	2	3	6	7
	-50	-64	-90	-130	1	2	3	3	7	9
	-60	-77	-108	-150						
	-73	-98	-136	-188	2	2	3	4	8	12
	-88	-118	-168	-240						
	-112	-148	-200	-274						

Determinación de la cota máxima:

Reemplazando los valores en la ecuación 3 se tiene:

$$C_{\text{máx}} = CN - D_s = 25 - 0,006 = 24,994$$

$$\mathbf{C_{\text{máx}} = 24,994 \text{ mm.}}$$

Determinación de la tolerancia:

Entramos a la tabla de grado calidad ISO, para la calidad IT7 y Ø25 se obtiene una tolerancia de:

$$T = 21\mu = 0,021 \text{ mm.}$$

$$\mathbf{T = 0,021 \text{ mm}}$$

Del esquema: $T = D_i + D_s$

$$D_i = T - D_s = 21 - 6 = 15\mu = 0,015 \text{ mm.} \quad \rightarrow \quad D_i = 0,015 \text{ mm.}$$

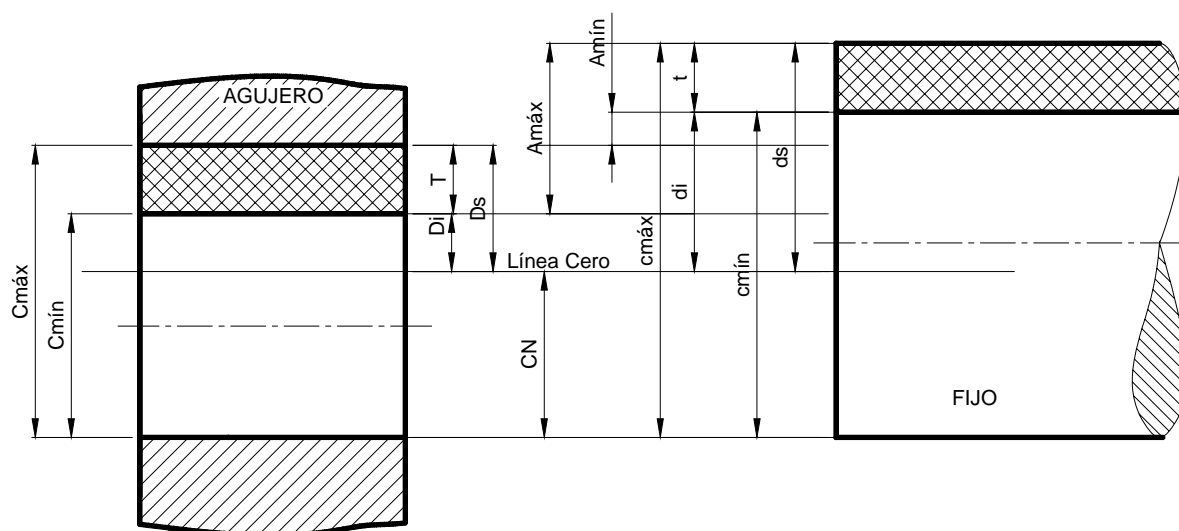
Reemplazando los valores en la ecuación 4 se tiene:

$$C_{\text{mín}} = CN + D_i = 25 + 0,015 = 24,085$$

$$\mathbf{C_{\text{mín}} = 24,085 \text{ mm.}}$$

Cálculo del ajuste máximo y mínimo

De los datos obtenidos, vemos que la cota máxima del eje es mayor que la cota máxima del agujero y la cota mínima del eje es mayor que la cota mínima del agujero, por lo tanto se trata de un APRIETE.



Del esquema se tiene que los valores del apriete son:

$$Amáx = C_{máx}(e) - C_{mín}(a) = 25,013 - 24,085 = 0,928$$

$$Amáx = 0,928 \text{ mm}$$

$$Amín = C_{mín}(e) - C_{máx}(a) = 25,000 - 24,994 = 0,006$$

$$Amín = 0,006 \text{ mm.}$$

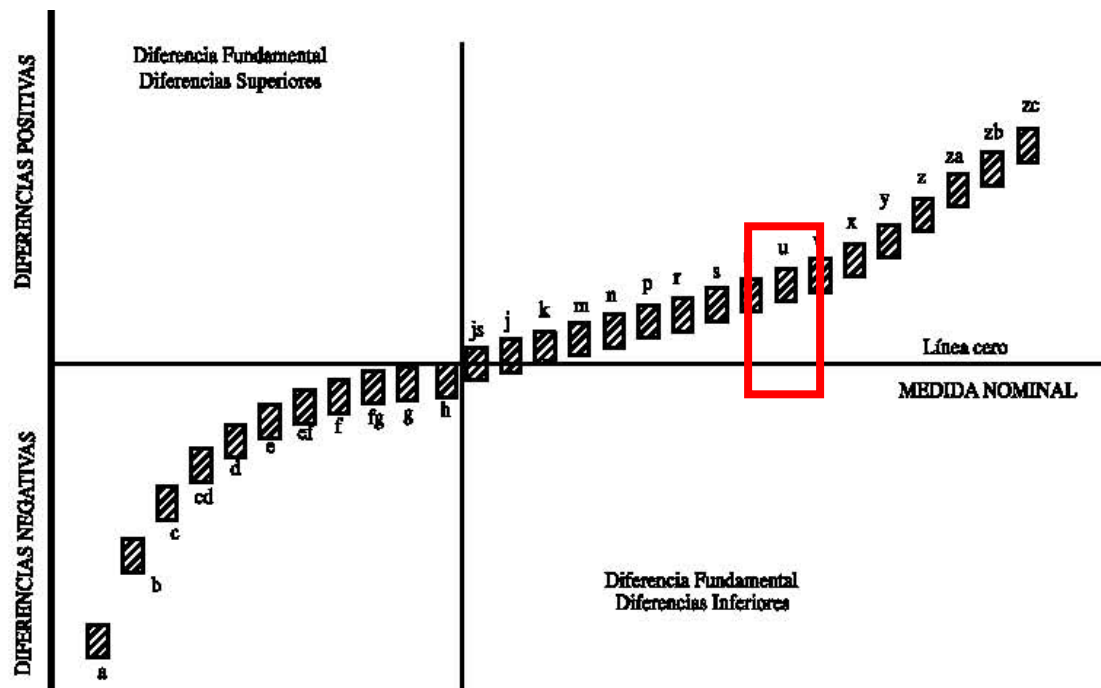
c.- El espesor máximo y mínimo se halla:

$$emáx = (C_{máx}(\varnothing 35) - C_{mín}(\varnothing 25)) / 2 \text{ (A)}$$

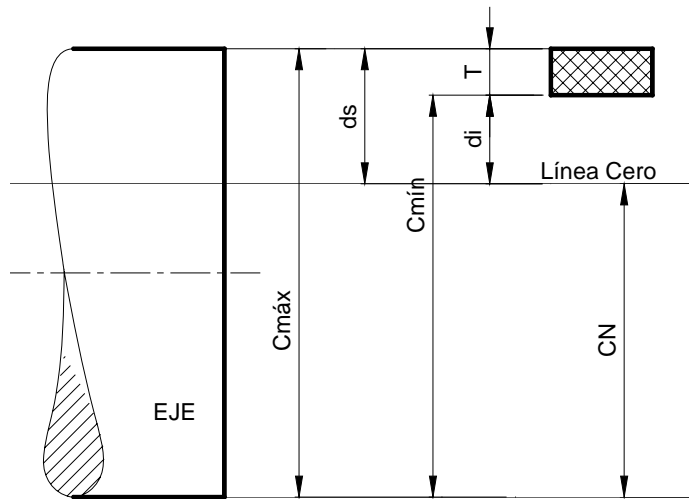
$$emin = (C_{mín}(\varnothing 35) - C_{máx}(\varnothing 25)) / 2 \text{ (B)}$$

Cálculo de los diámetros máximo y mínimo para $\varnothing 35u7$

Entramos a la representación gráfica de tolerancias para ejes, para la letra u



Se hace el esquema:



Del esquema:

$$Cmáx = CN + ds \quad (1)$$

$$Cmín = CN + di \quad (2)$$

$$T = ds - di \quad (3)$$

En el gráfico de grados de calidad ISO, para IT7 y Ø35 se una tolerancia de:

$$T = 25\mu = 0,025 \text{ mm.}$$

COTA NOMINAL		GRADOS DE CALIDAD											
MILIMETROS													
Mas de	Hasta	IT 01	IT 0	IT 1	IT 2	IT 3	IT 4	IT 5	IT 6	IT 7	IT 8	IT 9	IT 10
0	3	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40
3	6	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48
6	10	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58
10	18	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70
18	30	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	13	20	33	52	84
30	50	0,6	1	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100
50	80	0,8	1,2	2	3	5	8	12	19	30	46	74	120

En la tabla de tolerancias para ejes, con $\varnothing 35$ y la letra u se obtiene:

$$Di = 60\mu = 0,060 \text{ mm.}$$

POSICIONES DE LA TOLERANCIA PARA EJES																																	
Desviación		Desviación en el límite superior												Desviación en el límite inferior																			
Letra		a	b	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h	js	i	j	k	m	n	p	r	s	t	u	v									
Grado		Todos los grados												5 y 6	7	8	4 a 7	> 7	Todos los grados														
Mas de	Hasta																																
1	3	-270	-140	-60	-34	-20	-14	-10	-6	-4	-2	0		-2	-4	-6	0	0	2	4	6	10	14	-	-								
3	6	-270	-140	-70	-46	-30	-20	-14	-10	-6	-4	0		-2	-4	-	1	0	4	8	12	15	19	-	-								
6	10	-280	-150	-80	-56	-40	-25	-18	-13	-8	-5	0		-2	-5	-	1	0	6	10	15	19	23	-	-								
10	14	-290	-150	-95	-	-50	-32	-	-16	-	-6	0		-3	-6	-	1	0	7	12	18	23	28	-	-								
14	18																																39
18	24																																
24	30	-300	-160	-110	-	-65	-40	-	-20	-	-7	0		-4	-8	-	2	0	8	15	22	28	35	-	-								
30	40	-310	-170	-120	-	-80	-50	-	-25	-	-8	0		-5	-10	-	2	0	8	17	26	34	43	48	60								
40	50	-320	-180	-130	-	-90	-60	-	-30	-	-9	0		-6	-12	-	2	0	8	17	26	34	43	54	70								
50	65	-340	-190	-140	-	-100	-70	-	-35	-	-10	0		-7	-15	-	2	0	8	17	26	34	43	54	70								

Reemplazando los valores anteriores en la ecuación (3), se tiene:

$$T = ds - di \rightarrow 0,025 = ds - 0,060 \rightarrow ds = 0,025 + 0,060 = 0,085$$

$$ds = 0,085 \text{ mm.}$$

El diámetro máximo se determina reemplazando los valores en (1)

$$C_{\text{máx}} = CN + ds = 35,000 + 0,085 = 35,085 \text{ mm.}$$

$$C_{\text{máx}} = 35,085 \text{ mm.}$$

El diámetro mínimo se determina reemplazando los valores en (2)

$$C_{\text{mín}} = CN + di = 35,000 + 0,060 = 35,060 \text{ mm.}$$

$$C_{\text{mín}} = 35,060 \text{ mm.}$$

Espesor máximo

Reemplazando los valores en la fórmula(A):

$$e_{\text{máx}} = (C_{\text{máx}}(\varnothing 35) - C_{\text{mín}}(\varnothing 25)) / 2 = (35,085 - 24,085) / 2 = 0,5$$

$$e_{\text{máx}} = 0,5 \text{ mm.}$$

Espesor mínimo

Reemplazando los valores en la fórmula (B):

$$e_{\min} = (C_{\min}(\varnothing 35) - C_{\max}(\varnothing 25)) / 2 = (35,060 - 24.994) / 2 = 0,03$$

$$\mathbf{e_{\min} = 0,03 \text{ mm.}}$$